

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**

**О.А. Севко**

**Аэрокосмические методы  
в лесном хозяйстве**

Курс лекций по одноименной дисциплине  
для студентов специальности 1-75 01 01

**Минск 2005**

**О.А. СЕВКО**

# **Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве**

**Минск БГТУ 2005**

УДК 630.24, 630.56  
ББК  
С

Рассмотрен и рекомендован редакционно-издательским советом университета

Рецензенты:

зав. лабораторией дистанционной фотометрии НИИ прикладных физических проблем БГУ, доктор физ.-мат. наук *Б.И. Беляев*;  
главный инженер ЛРУП «Белгослес», кандидат сельскохозяйственных наук *А.П. Кулагин*.

**Севко О.А.**

**С**      Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве: курс лекций по одноименной дисциплине для студентов специальности 1-75 01 01 «Лесное хозяйство» / О.А. Севко. – Мн.: БГТУ, 2005. – 170 с.

ISBN 985-434-437-1

В курсе лекций рассмотрены вопросы использования аэрокосмических методов при решении задач лесного хозяйства и лесоустройства, описаны новейшие технологии лесного картографирования, методы дистанционного зондирования и технические средства для его проведения.

**УДК 630.24, 630.56**  
**ББК**

**ISBN 985-434-437-1**

© Учреждение образования  
«Белорусский государственный  
технологический университет», 2005

# **1. ВВОДНАЯ ЛЕКЦИЯ**

## **1.1. Содержание и определение предмета**

Лес имеет огромное значение для всех отраслей народного хозяйства республики, улучшения окружающей среды, повышения благосостояния и культурного уровня народа. Рациональное использование лесов является основной целью ведения лесного хозяйства. Для научно обоснованного решения этих вопросов нужны достоверные и оперативные методы и средства изучения лесного фонда, оценки и контроля его состояния. В настоящее время регулярный учет лесов и ведение лесного хозяйства на больших площадях (около 9,2 млн. га, лесистость 38%) невозможен без использования материалов аэрокосмических съемок.

Для получения информации о лесах специальными приемниками в летательных аппаратах и искусственных спутниках земли (ИСЗ) регистрируется отраженное от поверхности земли электромагнитное излучение. Поэтому методы для получения информации о лесах на расстоянии получили название дистанционных, или аэрокосмических, методов.

Для лесохозяйственных целей в РБ в настоящее время используется, в зависимости от природных условий, 15–21 летательных аппаратов (самолеты АН-2, ИЛ-103, вертолеты МИ-2, МИ-4, КА-26). Затраты на их использование распределяются:

- охрана лесов от пожаров и борьба с ними – 45%;
- лесоустройство – 40%;
- лесозащита и другие мероприятия – 15%.

Вопросы проведения, изготовления и использования материалов аэрокосмических съемок и применения авиации в лесном хозяйстве являются основными частями курса – аэрокосмических методов в лесном хозяйстве.

## **1.2. Краткая история и перспективы применения аэрокосмических методов в лесном хозяйстве**

В 1794г. была опубликована инструкция, лично составленная М.В.Ломоносовым, в которой рекомендовалось применять камеру-обскуру для съемки местности в экспедиционных условиях.

В 1791 – 1792 гг. французский гидрограф Ботан-Бопре получил при помощи камеры-клары перспективное изображение береговой

полосы острова Санта-Круц и использовал эти материалы для составления плана.

В **1839** г. Дагер (Франция) сообщил о том, что оптическое изображение, воспринятое в камере-обскуре, можно фиксировать не графически на бумаге, а фотографически на серебряной пластине, на поверхности которой нанесено светочувствительное йодистое серебро.

В **1858** г. во Франции был проведен опыт по фотографированию местности с привязанного аэростата. Это было сделано французским фотографом Надаром при землемерных работах с высоты в 80 м. Однако снимок оказался весь в пятнах от действия газа, выделяемого из аэростата на мокрый светочувствительный слой пластинки.

В **1871** г. были изобретены пластинки с сухим броможелатиновым слоем, изготавливаемые фабричным способом.

В **1887 – 1889** гг. были созданы возможности использования в качестве подложки для броможелатиновой эмульсии не только стеклянные пластинки, но и целлулоидные пленки.

В **1885** г. в Красном селе построен первый самолет Александром Федоровичем Можайским (Красное село 1885). Для определения размера крыла, угла его установки и скорости, необходимых для подъема человека в воздух, поднимался сам на воздушном змее. Самолет Можайского имел: крылья (длина 23 м, площади 330 м<sup>2</sup>), корпус, силовую установку (две нефтяные паровые машины на 20 и 10 лошадиных сил), три четырехлопастных воздушных винта (диаметром около 4м), хвостовое оперение и шасси, т.е. все основные части современного самолета.

**1913** г. – инженер Потте создал полуавтоматический пленочный аэрофотоаппарат.

Аэрофотосъемка получила значительное развитие в годы Первой мировой войны **1914 – 1918** гг.. Первое фотографирование с самолета с ясно поставленными географическими целями было выполнено 1 ноября 1914 г.

**1918** г. – организуется первый аэрофотографический отряд, создается Аэрофотосъемочно-фотограмметрическая школа.

**1923** г. – создан гражданский воздушный флот. Лесоводы считаются пионерами использования авиации (Тюрин, Турский, Болдырев).

**1925 г.** – отдельные лесоустроительные партии губернских отделов лесного хозяйства переданы в подчинение Центральному Управлению лесами Наркомзема.

**1925 г.** – проведена первая АФС для целей лесоустройства. Снижение стоимости и повышение качества таксационных работ способствовало значительному увеличению объемов АФС. К началу Великой Отечественной войны материалы АФС стали основой составления и подновления карт и проведения лесотаксационных работ.

**1929 – 1930 гг.** – организуются отдельные лесоустроительные районы в разных лесопромышленных ведомствах.

**1932 г.** – первые опыты тушения пожаров с воздуха.

**1935 г.** – приказом Наркомлеса СССР организована «Контора лесотранспортных изысканий, проектирования и лесоустройства «Леспроект».

**1935 г.** – создан Трест лесной авиации «Вселесавиа».

**1936 г.** – организован трест лесной авиации и аэротаксации лесов.

**1937 г.** – приказом Главлеспрома образована Всесоюзная лесоустроительная контора «Леспроект».

**1947 г.** – постановлением Совета Министров СССР создано Всесоюзное аэрофотолесоустроительное объединение «Леспроект».

**1948 г.** – начало производства цветных фотоматериалов.

**1954 г.** – для аэротаксации начинают применяться вертолеты. Параллельно с развитием авиации развивается и АФС

**1954 г.** – разрабатываются спектрозональные (демаскирующие, цветные, инфракрасные фотоматериалы).

**1956 г.** – закончено полное обследование территории СССР, составлена карта лесов, получены первые данные о лесном фонде СССР.

**1971 г.** – начало автоматического дешифрирования.

**1980 г.** – создание геоинформационных систем, основанных на аэро– и космических снимках.

**1994 г.** – начало использования геоинформационных систем в РБ, начинается разработка ГИС «Лесные ресурсы».

**2002 г.** – разработка технологии цифровой обработки аэрофотоснимков и автоматизированного изготовления планово-картографических материалов лесоустройства, создание FORMOD.

АКМ используются для картографирования и инвентаризации лесов, обнаружения и тушения лесных пожаров, наблюдения за облачностью, обнаружения очагов вредителей и болезней и борьбы с ними.

В настоящее время аэрокосмические снимки являются технической основой для разработки автоматизированных систем управления лесным хозяйством. В этих системах аэрокосмические методы в сочетании с наземными методами являются основным средством получения информации о лесах и их состоянии. На основе этой информации составляются два повыведельных банка картографических и таксационных данных. На основе этих данных в автоматическом режиме будут выдаваться ежегодные объемы и карты проведения лесохозяйственных работ.

По данным натурной таксации и по моделям роста в системе ежегодно будет корректироваться картографическая и таксационная информация, т.е. система будет проводить непрерывную инвентаризацию лесов. Это даст возможность увеличить период повторяемости лесоустроительных работ до 15 – 20 лет и значительно сократить затраты при их проведении.

### **1.3. Виды аэрофотоснимков и их использование**

Широкое внедрение фотограмметрии и стереофотометрии при картографировании привело к тому, что к настоящему времени у нас применяются различные виды съемок, основанные на геометрических и физических свойствах как одиночных снимков, так и стереопар.

В тех случаях, когда в результате съемки требуется получить план или карту с изображением только контуров (без рельефа) сфотографированной местности, применяется фотометрическая съемка, получившая у нас название контурной аэрофотосъемки, конечной продукцией которой является графический план или фотоплан.

Для получения плана с изображением не только контуров, но и рельефа применяются: *контурно-комбинированная съемка* (когда графический план или фотоплан контуров получается путем применения контурной аэрофотосъемки, а рельеф местности изображается на плане или фотоплане путем геодезической съемки); *дифференцированный метод высотной аэрофотосъемки* (рисовка рельефа на оригинальных аэроснимках производится

стереофотометрическим способом, а перенос контуров и горизонталей с аэроснимков на план производится методами фотограмметрии; *стереофотометрические съемки* (в результате стереофотометрических работ получают на плане и контуры и рельеф снимаемой местности).

В настоящее время фотографирование местности производится главным образом с самолетов. Фотографирование с самолетов, или аэрофотосъемка, выполняется преимущественно при положении оптической оси аэрофотоаппарата, возможно близком к отвесному. Этот случай аэрофотосъемки называется *плановой аэрофотосъемкой*, а снимки, полученные в результате плановой аэрофотосъемки, называются *плановыми аэроснимками*.

Плановые аэроснимки каждого маршрута могут быть соединены между собой (*смонтированы*) по контурам взаимно перекрывающихся частей. В результате получают так называемые *фотомаршруты*.

Для стереофотометрических работ требуется, чтобы вся снимаемая местность была сфотографирована без разрывов на взаимно перекрывающихся частях аэроснимков, образующих *стереопары*. Любые два смежных аэроснимка маршрута могут быть приняты за стереопару. В пределах взаимно перекрывающихся частей двух смежных аэроснимков каждой контурной точке одного аэроснимка соответствует идентичная точка на смежном аэроснимке. При 60-процентном перекрытии смежных аэроснимков каждого из маршрутов и при отсутствии разрывов между маршрутами любая контурная точка местности оказывается сфотографированной не менее чем на двух смежных аэроснимках, образующих стереопару [11].

В некоторых случаях применяется не только плановая аэрофотосъемка, но и *перспективная*, когда оптическая ось фотоаппарата отклонена от отвесной прямой на величину угла, заданную заранее. Аэроснимки, полученные в результате перспективной аэрофотосъемки, называются *перспективными*.

Масштаб перспективного аэроснимка непрерывно изменяется при переходе от одной контурной точки к другой. Что касается плановых аэроснимков, то они лишь условно называются плановыми, а по существу они также являются перспективными. У них масштаб тоже изменяется при переходе от одной контурной точки к другой, но в меньшей степени и этим пренебрегают.



*Аэроснимок* представляет собой *центральную проекцию* сфотографированной местности и является ее планом только в том случае, когда в момент фотографирования оптическая ось фотоаппарата занимала не приближенно, а строго отвесное положение ( $\alpha=0$ ) и поверхность сфотографированной местности не отличается от горизонтальной плоскости. В общем случае эти условия не выполняются. Поэтому плановые и перспективные аэроснимки необходимо преобразовать в такую центральную проекцию, которая может быть принята за план определенного масштаба. Подобного рода процесс по преобразованию одной центральной проекции называется *трансформированием* аэроснимков. Определение планового положения контурных точек местности для трансформирования может быть выполнено методами геодезии или методами фотометрии и частично – методами *стереофотометрии*.

*Аэрофотосъемкой (АФС)* называется комплекс работ по фотографированию земной поверхности с летательных аппаратов и изготовлению аэрофотоснимков. В зависимости от объектов АФС подразделяются на :

- одинарную – съемку небольших объектов на 1–2 снимка;
- маршрутную – съемку узкой полосы – 1–2 маршрута;
- многомаршрутную – съемку участка местности.

Минимальным съемочным объектом является трапеция международной картографической разграфки (масштаб карты 1/10 000), минимальный съемочный участок – трапеция масштаба 1/25 000

В зависимости от положения оптической АФС подразделяются на : *горизонтальную* (наклон оси равен  $0^0$ ), *плановую* (наклон до  $3^0$ ) и *перспективную* (наклон более  $3^0$ ).

В зависимости от масштаба АФС подразделяется на:

- сверхкрупномасштабную – 1/2 000 и крупнее;
- крупномасштабную – 1/2 000 – 1/10 000;
- среднемасштабную – 1/10 000 – 1/30 000;
- мелкомасштабную - 1/30 000 – 1/100 000;
- сверхмелкомасштабную – 1/100 000 и мельче.

В зависимости от спектра изображения снимки делятся на черно-белые, цветные и спектрозональные; одно- и многозональные.

Многозональная съемка. В обычной фотограмметрической съемке изображение объекта фиксируется на один снимок. Излучение реального объекта имеет спектр. Это означает, что в разных оптических спектральных диапазонах интенсивность отраженного

света различна. При фотографировании на один снимок все эти излучения в разных зонах спектра накладываются друг на друга, а на снимке получается суммарная интенсивность разных спектральных диапазонов.

В ультрафиолетовом участке спектра выделяются три зоны спектра: ближний ультрафиолет (300–400нм), средний (200–300нм) и дальний (менее 200нм). Видимая зона спектра тоже имеет свои спектральные подзоны. Интеграция спектров при формировании изображения и искажения при передаче спектральных характеристик мешают анализу изображения.

Многозональная съемка основана на разделении всего спектрального диапазона на зоны, в которых и получают изображение. Вместо одного снимка получают несколько, каждый содержит изображение заданного спектрального диапазона, что облегчает анализ и интерпретацию изображения. При использовании цифровых методов обработки изображения из спектрального изображения легко получить обычное. Однако спектральные изображения значительно проще анализировать, особенно с применением методов автоматической обработки данных. В настоящее время многозональная съемка реализуется с использованием сканирующих систем.

Инфракрасная съемка. Инфракрасная, или тепловая, съемка основана на получении снимков, фиксирующих излучение в тепловом диапазоне. В результате этой съемки невидимые излучения становятся доступными для визуального анализа. Она дополняет другие виды съемок. Эта съемка незаменима при обнаружении пожаров и мониторинге различных физических явлений, связанных с выделением тепловой энергии.

В то же время следует отметить недостаток инфракрасных съемок – более низкую метрическую точность по сравнению с фотограмметрической. Тепловые снимки относятся к снимкам низкого разрешения. На них наиболее холодные объекты выглядят светлыми, теплые – темными, т.е. цветовая гамма соответствует температурным характеристикам. Кривая отражательной способности растительного покрова характеризуется максимумом отражательной способности в зеленой зоне спектра, минимумом – в красной и резким увеличением коэффициента отражения в ближней ИК-зоне.

Объекты земной поверхности по температурному режиму разделяют на эндогенно нагретые и объекты, аккумулирующие

солнечную энергию. Вторая группа объектов характеризуется температурными контрастами в дневное время.

Болезни растений повышают их температурный фон. Разные виды растений различаются по температуре на 1–2 градуса.

Инфракрасные снимки, получаемые в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне, составляют около 80% всей информации от всех видов космических съемок.

Двумасштабная съемка. До 1998 г. для целей лесоустройства обычно использовались материалы плановой, многомаршрутной, крупно- и среднемасштабной (1/10 000, 1/15 000) съемки.

Сочетание сплошной средне- или мелкомасштабной и выборочной крупномасштабной аэрофотосъемки в настоящее время считается одним из наиболее реальных путей повышения информативности аэрофотометодов таксации лесов. Для получения более полной картины ситуации без наземного дешифрирования используется *двумасштабная* АФС. Она, в основном, применяется для таксации низкобонитетных лесов со сравнительно небольшой изменчивостью таксационных показателей, что позволяет интерпретировать признаки, полученные при дешифрировании крупномасштабных аэрофотоснимков, в том числе и методом стратификации. Разработки методов крупномасштабной АФС ведутся в трех направлениях:

1) с самолетов – параллельные маршруты масштаба 1/2000 – 1/5000 с интервалами 10 км и более;

2) с вертолета – отдельные синхронные (с помощью двух АФА) стереопары (фотопробы) масштаба 1/200 – 1/2 000;

3) метод совмещенной АФС двумя АФА с одного самолета: штатным АФА-42/20 для сплошного залета ( для мелкомасштабной съемки) и АФА-42/50 или АФА-42/100 для крупномасштабной маршрутной съемки.

В результате анализа рассмотренных трех методов двухмасштабной АФС можно наметить области их использования с учетом тенденций развития лесоустройства и лесного хозяйства.

1. Раздельная двухмасштабная АФС может применяться при устройстве резервных лесов статистическим методом в сочетании с дешифрированием аэрофотоснимков. Основной залет может выполняться в мелком (1/60 000 – 1/100 000) или среднем (1/15 000 – 1/ 25 000) масштабе. При выборе масштаба основного залета следует

учитывать что локальная информативность мелкомасштабного залета ниже, чем среднемасштабного.

2. Вертолетная съемка фотопроб обладает максимальной локальной информативностью, но из-за высокой стоимости, сложности организации работ, вследствие ограниченной дальности полета не может считаться оптимальной для массовых работ.

3. Двухмасштабная АФС с одного самолета – наиболее дешевый и простой метод, соответствующий тенденциям развития лётно-съемочных работ (использование самолетов более тяжелых типов, например, АН-30, позволяющих устанавливать несколько АФА), но этот вариант исключает свободное варьирование величиной ее масштаба, а также точные измерения высот древостоев стереометодом.

## **2. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ СЪЕМОК**

### **2.1. Оптические свойства атмосферы**

Для солнечных лучей атмосфера является полупрозрачной средой, частично отражающей (30%), поглощающей (20%) и пропускающей (50%) солнечную радиацию. Прозрачность атмосферы увеличивается с увеличением длины волны. Фиолетовые, синие и голубые лучи рассеиваются атмосферой в 2,2 раза больше, чем красные. Поэтому небо имеет синий цвет, а солнце в утренние и вечерние часы – красное.

Слой атмосферы между земной поверхностью и съемочной системой всегда содержит мельчайшие (0,01–1 мм) частицы газов, водяных паров, пыли, дыма. Они вызывают рассеяние света в атмосфере и обуславливают дополнительную яркость самого воздуха, чем снижают контрастность деталей земной поверхности. Свечение или мутность атмосферы за счет рассеяния света от взвешенных в воздухе частиц называют *дымкой*. В результате преобладания в атмосфере молекул газов и водяного пара сильнее рассеиваются фиолетовые, синие и голубые лучи, столб воздуха приобретает собственную яркость (свечение) – *дымка первого рода*. На снимках она изображается в виде равномерно серой вуали (пелены). В результате этого объекты местности с меньшей яркостью не находят изображения на снимках. Для устранения вредного влияния дымки первого рода используются желтые и оранжевые светофильтры, не пропускающие фиолетовых, синих и голубых лучей.

Твердые частицы пыли, дыма и льда в одинаковой мере рассеивают все лучи, возникает *дымка второго рода*, имеющая серый или белесый цвет. При ее наличии АФС проводить запрещается.

Такая дымка чаще бывает в районах с задымленностью от лесных пожаров и промышленных предприятий или в зонах распространения частиц пыли и песка, что характерно для южных безлесных областей. Атмосферная дымка уменьшает яркость объектов пропорционально коэффициенту пропускания:

$$T = e^{-\tau \cdot \sec \beta},$$

где  $\tau$  – оптическая толща всей атмосферы;  $\beta$  – угол проектирующего луча по отношению к местной вертикали.

Кроме того, дополнительно налагается яркость собственной дымки. Это приводит к уменьшению разности оптических плотностей изображения:

$$\Delta D = D_{\max} - D_{\min},$$

где  $D_{\max}$  и  $D_{\min}$  – максимальная и минимальная плотности на снимке.

Это происходит главным образом за счет увеличения  $D_{\min}$ , а соответственно к ослаблению контрастов и вуалированию съемочных материалов. Иногда, даже в совершенно безоблачные дни, дымка влияет так сильно, что исчезает различимость объектов земной поверхности и съемка становится невозможной.

В прямой зависимости от контрастности находится разрешающая способность съемочных материалов, которая уменьшается в связи с ослаблением фотографических контрастов. При съемке атмосфера может снизить разрешение на местности в 2 раза и более.

При изменении высоты с 1 до 4–6 км  $\Delta D$  уменьшается с 1,5 до 0,5–0,7. С высоты 4–6 км уменьшение  $\Delta D$  практически прекращается. Такого же порядка получена  $\Delta D$  при съемке с пилотируемых космических кораблей (ПКК). Коэффициент задымленности до высоты 3,5–4,5 км быстро растет, достигая наибольшего значения в слое воздуха 2–4 км, а затем его рост замедляется. Возникающее явление называют эффектом кальки, при котором дымка, как бы спрессованная в слое воздуха в 2–2,5 км, накладывается на фотографируемый ландшафт в виде своеобразного фильтра. В результате при соответствующем подборе фотопленок и светофильтров можно получать высококачественные негативы при

съемке не только с больших высот, но и из космоса.

Атмосферная рефракция наряду с кривизной Земли влияют на положение точек аэроснимка следующим образом.

1. Кривизна Земли не нарушает тех геометрических положений, на основе которых строился геометрический анализ аэроснимка.

2. Атмосферная рефракция нарушила одно из основных положений линейной перспективы: проектирующий луч в атмосфере представляет собой не прямую линию, а кривую. Однако радиус кривизны луча в атмосфере настолько незначителен, что практически можно и в дальнейшем рассматривать с геометрической точки зрения контурные точки аэроснимка как результат центрального проектирования при помощи прямолинейных проектирующих лучей.

3. Влияние кривизны Земли на положение контурных точек частично компенсируется влиянием атмосферной рефракции.

4. Величина совместного влияния кривизны Земли и рефракции настолько незначительна, что в случае плановой аэрофотосъемки не учитывается. При съемке короткофокусными аэрофотоаппаратами с больших высот эта величина может выйти за пределы ошибок фотограмметрических измерений.

## **2.2. Освещенность земной поверхности**

*Освещенность земной поверхности* – поток лучистой солнечной энергии, достигающей поверхности Земли. Величина его зависит от высоты стояния Солнца, широты местности, прозрачности атмосферы и наличия облачности. В результате рассеивания солнечного света поверхность Земли освещается прямыми солнечными лучами и рассеянным светом. Доля рассеянного света увеличивается с уменьшением высоты стояния Солнца, прозрачностью атмосферы и увеличением облачности.

Естественная освещенность земной поверхности, или поток лучистой энергии  $E_c$  при безоблачном небе либо частичной облачности, складывается из освещенности прямыми солнечными лучами  $E_n$  и рассеянной освещенности  $E_p$ , поступающей от небесного свода и отраженной от земной поверхности:

$$E_c = E_n + E_p.$$

Если небосвод покрыт сплошной облачностью,  $E_n = 0$ , тогда  $E_c = E_p$ .

Интенсивность прямой освещенности зависит от высоты Солнца над горизонтом  $\varphi$  и от прозрачности атмосферы:

$$E_n = E_o p^{\operatorname{cosec} \varphi} \sin \varphi,$$

где  $E_o$  – освещенность на границе атмосферы, равная примерно 130 тыс. лк;  $p$  – коэффициент прозрачности атмосферы, равный для средних условий 0,7–0,8.

С увеличением прямой освещенности увеличиваются контрасты между освещенными и затененными частями объектов, уменьшается длина теней, но увеличивается их чернота. Общий вид полога древостоя становится более ярким и пестрым, но просматриваемость полога в глубину уменьшается.

С увеличением доли рассеянного света уменьшаются различия между освещенными и затененными частями объектов (крон). Тени деревьев выражаются более слабо. Общий вид полога древостоев становится более однообразным. В результате этого увеличивается просматриваемость полога древостоев в глубину и повышаются дешифровочные качества снимков.

При высоте стояния Солнца более  $15\text{--}20^\circ$  спектральный состав освещенности остается практически неизменным. В результате этого облегчается подбор аэропленок и сохраняется стабильность изображения древостоев на аэроснимках.

### 2.3. Оптические характеристики природных объектов

Показатели, характеризующие яркость объектов и определяющие их дешифровочные возможности: коэффициент полного отражения, или альбедо  $A$ , коэффициенты яркости  $r$  и спектральной яркости  $r_\lambda$ , яркостный контраст  $K$  и интервал яркости  $U$ .

*Альбедо* – это отношение светового потока, отраженного данной поверхностью по всем направлениям  $F$ , к полному потоку, поступающему на исследуемую поверхность  $F_0$ :

$$A = F/F_0.$$

Различают спектральное  $A_\lambda$  альбедо:

$$A_\lambda = F_\lambda/F_{0\lambda}.$$

Возможность глазомерного восприятия объектов обусловлена различием их *отражательной способности* – яркости, которую характеризует *коэффициент яркости* (в долях единицы или %):

$$r=B_1/B_0.$$

где  $B_1$  – яркость отражающей поверхности (объекта);  $B_0$  – яркость абсолютно белой идеально рассеивающей поверхности (гипсовая пластинка или белая бумага, покрытая серноокислым барием, отражает 90% света и принимается за 1,0, эталон).

Снег чистый – 88%, лес – 5%, затемненные участки в лесу – 3%, желтые поля – 20%, песок желтый – 31%, песок мокрый – 18%.

Различные лучи спектра отражаются объектами неодинаково, и для характеристики их отражения используется *коэффициент спектральной яркости* ( $\lambda$  – длина волны).

$$r_{\lambda} = B_{1\lambda}/B_{0\lambda}.$$

Для оценки различия яркости объектов используются *яркостные контрасты*:

$$K = \frac{B_1 - B_2}{B_1} = \frac{r_1 - r_2}{r_1},$$

где  $B_1$  – яркость объекта с большей яркостью;  $B_2$  – яркость объекта с меньшей яркостью,  $r_1$  – коэффициент яркости первого объекта;  $r_2$  – коэффициент яркости второго объекта.

Контраст абсолютно белых и черных объектов равен 1,0. В природе таких объектов нет. Различают объекты, имеющие большой контраст – контрастные ( $K \geq 0,5$ ), мало- ( $K < 0,2$ ) и среднеконтрастные ( $K = 0,2-0,5$ ). В природе преобладают малые и средние контрасты. Преобладающее большинство лесохозяйственных объектов, подлежащих распознаванию на съемочных материалах, малококонтрастно (табл. 1).

В период осеннего пожелтения листвы контраст между хвойными (сосна – ель) и лиственными (береза – осина) породами достигает 0,8–0,87. Контраст между освещенными частями крон и затененными промежутками между ними даже летом в видимой области спектра составляет 0,86–0,88, а в ближней ИК – 0,94–0,97.

При анализе фотографического воспроизведения тонов для сопоставления яркости двух смежных объектов или объекта и фона используют *деталь яркости*, определяемую по формуле



$$\Delta = \log(B_1/B_2) = \log(r_1/r_2).$$

Таблица 1

**Контрасты между древесными породами в августе**

Древесные породы	Глаз человека (400–680 нм)	Пленка панхром с ЖС-18 (500–680 нм)	Пленка инфрахром с КС-14 (650–760 нм)
Ель – сосна	0,08–0,12	0,07–0,10	0,10–0,12
Ель – кедр	0,05–0,10	0,06–0,08	0,08–0,10
Ель – пихта	0,03–0,05	0,03–0,05	0,01–0,03
Кедр – сосна	0,06–0,08	0,06–0,08	0,02–0,03
Ель – береза	0,15–0,20	0,15–0,20	0,32–0,35
Ель – осина	0,18–0,24	0,18–0,22	0,32–0,38
Сосна – береза	0,04–0,10	0,03–0,10	0,20–0,24
Сосна – осина	0,08–0,14	0,08–0,12	0,22–0,28
Береза – осина	0,01–0,06	0,02–0,08	0,04–0,06

При выборе условий съемки определяют *интервал яркости* (относительный фотографический контраст) – отношение наибольшей яркости объектов к наименьшей (или соответствующих коэффициентов яркости):

$$U = B_{max}/B_{min} = r_{max}/r_{min}.$$

Интервал яркости ландшафта оценивают, исходя из яркости массовых или имеющих наибольшее значение объектов. Среднее значение интервалов яркости летнего ландшафта колеблется в пределах от 2 до 30, фотографических контрастов – от 0,3 до 1,48.

Глаза человека воспринимают минимальный контраст 0,01–0,02, который называется *пороговым контрастом зрительного восприятия*. Глаз человека более чувствителен к цветам, чем серым (черно-белым) тонам. Передача естественных цветов не обязательна. Необходимы лишь наибольшие различия в цветах. Поэтому дешифровочные свойства спектрально-аналитических АФС выше, чем черно-белых и цветных.

Спектральные характеристики природных объектов в натуре и с летательных аппаратов измеряются с помощью различных *спектрометров*, в которых результаты наблюдений регистрируются на фотопленке или фотоэлементом.

## 2.4. Электромагнитный спектр

Солнечное излучение представляет собой электромагнитные волны широкого спектрального диапазона [10]. Электромагнитные волны можно представить в виде шкалы спектра (рис. 1). В зависимости от длины волны (от нано- до микрометра) спектр делится на зоны: гамма и рентгеновскую, ультрафиолетовую, видимую – воспринимаемую глазом человека, инфракрасную и радиоволновую. Основными характеристиками излучения являются: длина волны  $\lambda$  и частота колебания  $\nu$ .

Спектр начинается с коротковолнового излучения (гамма лучи  $\lambda = 10^{-4}$ – $10^{-2}$  нм, рентгеновские лучи  $\lambda = 10^{-2}$ – $10$  нм). Участок спектра с длиной волн  $\lambda = 0,01$ – $0,38$  мкм относится к ультрафиолетовой (УФ) области (дальняя УФ-область  $0,01$ – $0,30$  мкм и ближняя –  $0,3$ – $0,38$  мкм). Спектральный диапазон  $\lambda = 0,38$ – $0,76$  мкм – область видимого излучения, воспринимаемого человеческим глазом и многими приемниками типа фотоэлементов ( $0,38$ – $0,45$  мкм – фиолетовый,  $0,45$ – $0,48$  – синий,  $0,48$ – $0,51$  – голубой,  $0,51$ – $0,55$  – зеленый,  $0,55$ – $0,57$  – желто-зеленый,  $0,57$ – $0,59$  – желтый,  $0,59$ – $0,62$  – оранжевый и красный –  $0,62$ – $0,76$  мкм).

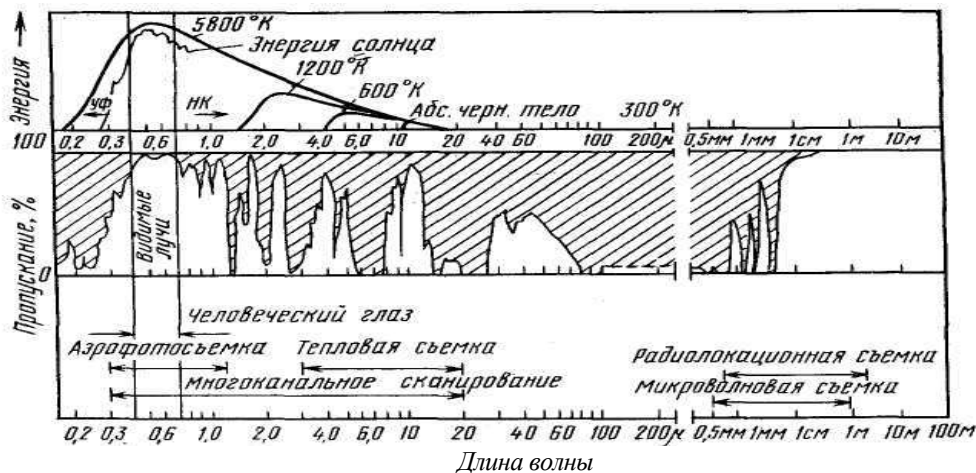


Рис. 1. Электромагнитный спектр и окна прозрачности атмосферы

Область спектра  $0,76$ – $1000$  мкм – инфракрасная (ИК). Излучения подразделяют на четыре зоны: ближнюю –  $0,76$ – $3$  мкм, среднюю –  $3$ – $6$  мкм, дальнюю –  $6$ – $14$  мкм и очень далекую –  $14$ – $1000$  мкм. В ближней и средней ИК-областях преобладает отраженное (солнечное) излучение, а в дальней и очень далекой,

называемыми тепловыми, – собственное излучение. Участок спектра, примыкающий к ИК тепловому, охватывает ультракороткие радиоволны. Его подразделяют на диапазоны миллиметровых, сантиметровых, дециметровых и метровых радиоволн. Сантиметровые и дециметровые волны часто объединяют в диапазон радиоволн сверхвысоких частот (СВЧ). Иногда миллиметровые и сантиметровые волны относят к одному диапазону, называемому микроволновым.

При изучении Земли дистанционными методами наблюдения можно проводить только в зонах прозрачности земной атмосферы. Пропускание атмосферы по спектру различно (рис. 1). В рентгеновской и дальней УФ-блестях (до  $\lambda = 0,3$  мкм) атмосфера абсолютно непрозрачна. В пределах 0,3–0,38 мкм (ближняя УФ-область) и в ближней видимой части спектра ( $\lambda = 0,38$ –0,5 мкм) на съемку значительно влияет атмосфера, так как прозрачность ее от слабой до удовлетворительной; в остальной видимой части спектра ( $\lambda = 0,5$ –0,76 мкм) прозрачность атмосферы высокая.

Для изучения поверхности земли используются различные типы приемников:

- гамма, рентгеновские, ультрафиолетовые зоны – не исследуются (гамма-диапазон используется в геологии для поиска радиоактивных руд;
- в видимой и инфракрасной зоне проводятся визуальные наблюдения, фото-, теле-, сканерная съемка.;
- в ближайшей к инфракрасной и средней инфракрасной зонах проводится тепловая съемка;
- в радиодиапазоне – радиолокационная (радарная) и микроволновая (радиотепловая) съемки.

В настоящее время наиболее широко используются фото-, теле- и сканерные съемки.

## **2.5. Отражательная способность лесной растительности.**

Поток лучистой энергии, состоящий из прямой и рассеянной солнечной радиации, при падении на объект также делится на три части: пропущенную, поглощенную и отраженную. Практический интерес для съемки имеет отраженная энергия, состоящая из энергии излучения, отраженного непосредственно поверхностью

объекта, и энергии излучения, рассеянного внутренними структурными частями.

Часть поглощенной энергии лучистого потока, затраченная на нагревание поверхности, отражается в виде теплового излучения, которое лежит в ИК-области спектра; на этом тепловом излучении базируется инфратепловая съемка.

У всех древесных пород в летний период кривые спектральной яркости имеют примерно одни и те же величины и закономерности (рис. 2); это характерно также для нелесных и не покрытых лесом площадей.

Все растительные сообщества летом характеризуются в видимой области спектра максимумом поглощения в синей и оранжево-красной зонах. Форма кривых коэффициентов спектральной яркости имеет максимум в зеленой зоне спектра ( $\lambda = 540\text{--}580\text{ нм}$ ), минимум – в сине-фиолетовой ( $\lambda = 400\text{--}470\text{ нм}$ ) и красной ( $\lambda = 680\text{--}690\text{ нм}$ ).

У большинства лиственных пород в ИК-лучах ( $0,7\text{--}0,9\text{ мкм}$ ) коэффициент отражения больше в 5 раз, а у хвойных – примерно в 4 раза, чем в видимой части спектра. Именно поэтому при черно-белом фотографировании растения в ИК-области спектра

изображаются более светлым тоном. Эта особенность и положена в основу многозональной съемки.

На оптические характеристики растений влияют географическое и высотное положения, погодные условия.

В ближайшей ИК-зоне спектра различия в спектральных яркостях крон основных древесных пород значительные. При этом можно выделить две группы пород: повышенной спектральной яркости, где  $r_\lambda = 0,6\text{--}0,7$  (осина, береза), и с меньшей величиной  $r_\lambda$  (сосна, ель). В связи с этим при ИК-съемке тоновые различия между древесными породами существенны, они надежно позволяют отделять хвойные породы

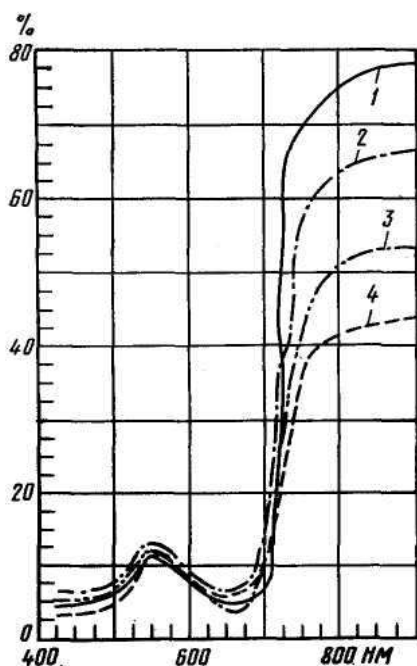


Рис. 2. Кривые коэффициентов спектральной яркости:  
1 – осины; 2 – березы;

от лиственных.

В ИК-зоне спектра  $r_\lambda$  здоровые деревья существенно различаются от поврежденных вредителями или пожарами и сухостойных (рис. 3). Оценку санитарного состояния их обеспечивает двухслойная спектрально-зональная.

В течение вегетационного периода изменяется внешний вид и отражательная способность древостоя. Весной молодая хвоя и листва имеют ярко-зеленый цвет, летом – темно-зеленый вследствие насыщения хлорофиллом. Существенные различия в яркости приводят к тому, что изображения на снимках хвойных и лиственных древостоев в весенний период значительно контрастны.

Осенью, когда завершается вегетация лиственных пород, их цвет и оптические свойства резко изменяются. В этот период наблюдаются наибольшие цветовые и тональные контрасты между лиственными и хвойными древесными породами при съемке на панхроматические и цветные пленки.

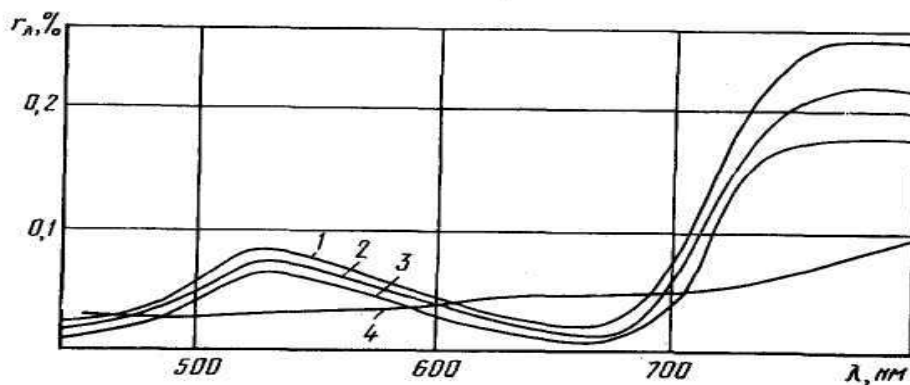


Рис. 3. Кривые коэффициентов спектральной яркости кроны кедровых деревьев разной степени повреждения: 1 – неповрежденных; 2 – поврежденных на 20–40%; 3 – поврежденных на 70–80%; 4 – полностью обесхвоенных

При этом кривые спектральных яркостей травянистой и древесной растительности имеют примерно одинаковый вид: зона голубых, синих и фиолетовых лучей – минимум отражения и незначительные различия между древесными породами; зона зеленых и желтых лучей (зона отражения хлорофилла) – максимум отражения и различия весной и особенно осенью; зона оранжево-красных лучей (зона поглощения хлорофилла) – в весеннее и летнее время отражение и различия незначительны и резко увеличиваются осенью между хвойными и лиственными породами с пожелтением листвы; зона

инфракрасных лучей – наибольшее отражение и различия в летнее время.

С учетом изменения отражательной способности подбираются типы аэропленок: весной и осенью – орто- или панхроматические, летом – инфрахроматические и спектрзональные.

В ИК зоне проводится съемка здоровых, поврежденных, усыхающих и усохших деревьев.

## **2.6. Метеорологические условия и сроки проведения съемок**

АКС проводятся в ясные солнечные дни или при наличии высокой (даже сплошной) облачности, но выше полета летательных аппаратов. Очень сложно проведение КС. В любой момент облака покрывают примерно 65% Земли и около 75% стран СНГ. Изучение облачности проводится по данным многолетних наблюдений.

Аэро- и космические съемки обычно выполняют в яркие, солнечные, безоблачные дни. Перистые и перисто-слоистые облака им не препятствуют. Аэросъемка возможна и при высокой сплошной облачности, но выше самолета (вертолета), выполняющего съемку. Высокая сплошная облачность позволяет получать бестеневые аэроснимки с улучшенным качеством изображения, смягченными тонами теней, в результате чего полог насаждений просматривается глубже, лучше видны его затененные части

Фенологическое состояние деревьев и древостоев оказывает значительное влияние на их внешний вид, характер изображения на снимках и возможности дешифрирования. Для лесохозяйственных целей наиболее целесообразно увязывать сроки проведения АКС с развитием березы. Она растет повсеместно. У нее раньше других древесных пород появляется, начинает желтеть и опадать листва.

Весной на черно-белых аэропленках съемку начинают проводить через 2 недели после начала облиствления (средние многолетние данные – 5–10 мая), 15мая – на спектрзональные. Осенью съемка на спектрзональные пленки заканчивается с началом массового пожелтения листьев – 15 сентября, на черно-белые – до опадения половины листвы – середина октября.

АФС начинают проводить через 2 ч. после восхода Солнца при высоте его стояния более 25° и заканчивают за 3 ч. до захода Солнца. В течение дня съемочное время обычно не превышает 3–4 ч. После

9–10 ч. появляются кучевые облака и облачность достигает максимального развития к 13–15 ч.

Аэрофотосъемка на спектрональную пленку производится строго по техническим условиям съемки для данной пленки и выполняется на основании «Основных положений по аэрофотосъемке, выполняемой для создания и обновления топографических карт и планов, ГКИНП-09-32-80» и «Руководства по аэрофотосъемке в картографических целях» (РАФ).

### **3. САМОЛЕТЫ И ВЕРТОЛЕТЫ ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

#### **3.1. Основные принципы полетов**

Для проведения полетов в воздухе необходимо преодолеть силу земного притяжения – *силу тяжести*. Сила, преодолевающая силу тяжести, называется *подъемной силой*. Различают *аэростатический*, *аэродинамический* и *реактивный* принципы создания подъемной силы и, соответственно, проведения полетов.

При *аэростатическом* принципе полета подъем и поддержание аэростатов проводится с помощью газов легче воздуха (водород, гелий, нагретый воздух). Различают три вида аэростатов: свободные, привязные и управляемые, или дирижабли.

При *аэродинамическом* принципе подъемная сила возникает в результате движения тела в воздушном потоке. Движущаяся поверхность, обеспечивающая возникновение подъемной силы – называется *несущей*. Она может совершать *поступательное* или *вращательное* движение. При поступательном движении подъемная

сила создается на *крыльях самолета*. Перемещение в воздушном потоке, полет, обеспечивается турбинами двигателя. При вращательном движении несущей поверхности подъемная сила создается за счет отталкивания (отбрасывания) вниз воздуха одним или несколькими *винтами (вертолет)*, проведение полета обеспечивается этими же винтами.

В *реактивных* двигателях в камерах сгорания сжигается топливо и образовавшиеся газы с огромной скоростью выходят через сопла. В результате этого появляется *реактивный момент* – сила, направленная в противоположную сторону выхода газов (ракеты, реактивные самолеты). Она обеспечивает как возникновение подъемной силы, так и непосредственно проведение полета.

### 3.2. Принципы полетов и устройства самолетов и вертолетов

Тело, которое движется в воздухе, непрерывно испытывает со стороны последнего сопротивление. Для того чтобы преодолеть это сопротивление, нужно приложить определенную силу. Сила сопротивления воздуха, называемая силой лобового сопротивления, которую встречает движущееся в нем тело, прямо пропорциональна плотности воздуха, площади сечения тела, квадрату скорости движения и зависит от формы тела, его поверхности и положения в воздушном потоке. Этот закон аэродинамики положен в основу конструкции летательных аппаратов [10].

Сопротивление воздуха движению любого тела называется полной *аэродинамической силой*. Если тело несимметрично или его ось не совпадает с направлением воздушного потока, то аэродинамическая сила будет наклонена к движущемуся телу под углом (рис. 4).

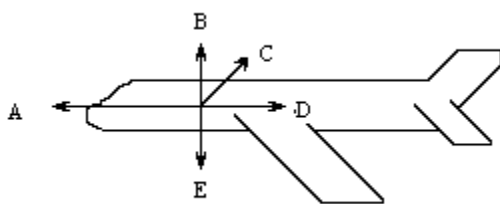


Рис. 4. Силы, действующие на летящий объект

Горизонтальный полет самолета можно рассматривать как результат действия трех сил: *полной аэродинамической (OC)*, *веса (сила тяжести – OE)* и *силы тяги воздушного винта или реактивного двигателя (OA)*. Взаимодействие этих сил лучше представляется, если полную



аэродинамическую силу разложить на две составляющие: *лобовое сопротивление*, направленное в обратную сторону полета (ОД), и *подъемную силу* (ОВ).



Рис. 5. Форма крыла самолета

Для создания подъемной силы верхняя поверхность крыльев самолетов изготавливается более выпуклой, чем нижняя (рис. 5).

Частицы воздуха вдоль верхней поверхности проходят большее расстояние, чем вдоль нижней. Поэтому скорость движения их относительно крыла различна. Различие скоростей обуславливает разность давлений над и под крылом. При разности давлений в 1 – 2 % атмосферного она составит около 20 граммов на 1 см<sup>2</sup> крыла.

Подъемная сила увеличивается с увеличением угла установки крыла – *угла атаки*. Однако при достижении угла атаки 14 – 18° начинается *срыв* воздушного потока и резкое падение подъемной силы.

Для подъема в воздух подъемная сила должна быть больше веса самолета, что достигается при определенной скорости. Поэтому для подъема самолета в воздух необходим разбег по земле.

Устройство самолета. Самолет состоит из крыльев, корпуса, органов устойчивости и управления, передвижения и посадки, винтомоторной группы (двигателя).

Органы устойчивости и управления состоят из *элеронов* и *хвостового оперения*. Элероны являются частью крыла и представляют собой подвижные крылышки, расположенные по концам крыльев самолета. Они служат для сохранения самолетом поперечной устойчивости и для наклона его при поворотах вокруг продольной оси. Хвост имеет горизонтальное и вертикальное оперения. Горизонтальное оперение состоит из *стабилизатора* – неподвижной части, обеспечивающей самолету продольную устойчивость (в вертикальном направлении), и подвижной части – *рулей высоты*, с помощью которых самолет может подниматься и снижаться. Вертикальное оперение состоит из *киля* и *руля направления*.

Устройство вертолета. Основные части вертолета: несущий винт, корпус, двигатели, трансмиссия, система управления, рулевой винт и шасси. Вертолет (гелиокоптер, гелиос-винт, коптерон – крыло) – подъемная сила и поступательное движение создаются несущим

винтом. При этом угол установки каждой полости изменяет *автомат перекоса* (Б.Н.Юрьев). Режим работы автомату перекоса задает *пилот*. Изменение угла установки каждой лопасти в течение оборота приводит к тому, что равнодействующая сила тяги несущего винта может быть направлена в любую сторону.

При остановке двигателя автоматически несущий винт переводится на режим самовращения. С потерей высоты несущий винт раскручивается набегающим потоком воздуха, и при снижении на 150 – 200 м высоты подъемная сила достигает такой величины, что вертолет сможет спланировать и совершить мягкую посадку на землю. Поэтому вертолетам разрешается зависать на высоте 10 – 200 м.

*Корпус* вертолета связывает все части в одно целое. В нем размещаются двигатель, система управления, специальное оборудование, механизм трансмиссии, кабина для пилота, пассажиров и груза. *Хвостовой винт* устанавливается только на одновинтовых вертолетах. Он служит для уравнивания реактивного момента несущего винта и поворота вертолета.

Оборудование самолетов и вертолетов состоит из пилотажно-навигационной и другой специальной аэрофотосъемочной аппаратуры: автопилота и автомата программного разворота, компаса и курсовой системы, высотомера и оптических бортовых визиров.

При подходе на заданной для съемки высоте к начальному маршруту лётно-съемочный персонал вводит самолет в створ ориентиров. После этого с самолета выбирают на местности и запоминают ряд контуров, находящихся в створе *основных ориентиров*. Эти контуры называются *вспомогательными ориентирами* и служат вместе с основными ориентирами для визуального ориентирования самолета при его прохождении вдоль начального маршрута. Выбор ориентиров смежных маршрутов производится при помощи специальных приборов, называемых *бортовыми*, или *оптическими визирами*.

Наиболее простым случаем визуально инструментального аэрофотосъемочного самолетовождения является тот случай, когда аэрофотосъемка производится в безветренную погоду или направление ветра совпадает с направлением аэрофотосъемочных маршрутов. При боковом ветре курс самолета не равен заданному путевому углу. Заданным *путевым углом* считают азимут маршрута.

Угол, образуемый заданным направлением полета и фактическим направлением полета, называется *углом сноса*. Для того чтобы и при боковом ветре самолет летел по заданному направлению, необходимо изменить направление его воздушной скорости на некоторый угол. Этот угол называется *углом упреждения*.

При боковом ветре на направление полета самолета влияют воздушная скорость и ветра. *Воздушной скоростью* самолета называется скорость движения самолета относительно воздушной среды. Величина ее определяется по приборам. *Скоростью ветра* называется скорость движения частиц воздуха относительно точек земной поверхности. Вследствие влияния действия на самолет двух сил самолет будет лететь не по заданному направлению, а по направлению, являющемуся равнодействующей этих двух сил. Величина равнодействующей определяет величину *путевой скорости самолета*. Путевая скорость самолета является геометрической суммой воздушной скорости самолета и скорости ветра.

Высота фотографирования. При рассмотрении аэрофотосъемки полагается, что при прохождении аэрофотосъемочных маршрутов самолет все время находится на одной и той же высоте. Однако различают несколько понятий высоты.

*Абсолютная высота* фотографирования измеряется от центра проектирования до уровня поверхности. *Истинная высота* фотографирования соответствует расстоянию от самолета до земной поверхности, измеряемому по отвесной прямой. *Относительная высота* фотографирования измеряется вдоль отвесной прямой от центра проектирования до горизонтальной плоскости, расположенной на уровне аэродрома.

### **3.3. Технические характеристики самолетов и вертолетов, применяемых в лесном хозяйстве**

В лесном хозяйстве в основном используются самолеты АН-2 (рис. 6), АН-30 – для проведения съемочных и изыскательских работ, а также для наблюдения за пожарным состоянием лесов, и вертолеты МИ-2, МИ-4 – для наблюдения за состоянием лесов, посадки десанта во время пожаров, доставки грузов в труднодоступные районы, а также КА-26 – для наблюдения в пожароопасный период. Технические характеристики самолетов и вертолетов, применяемых в лесном хозяйстве, представлены в табл. 2.



Рис. 6 Самолет АН-2

При использовании летательной техники необходимо строго соблюдать сроки ее эксплуатации в различные поры года. Месячные нормы гарантийного налета составляют для самолетов с мая по октябрь 70 ч., для вертолета – 60 ч. В остальное время года нормы налета составляют соответственно 40 и 60 ч.

Таблица 2

**Технические характеристики самолетов и вертолетов,  
применяемых в лесном хозяйстве**

№	Технические показатели	АН-2	АН-24	АН-30	АН-26	МИ-2	МИ-4	МИ-6	МИ-8	КА-26
1	Максимальная взлетная масса, т	4,74	23	23	23	3,55	7,35	40,5	11,1	3,08
2	Количество двигателей	1	2	2	2	2	1	2	2	2
3	Диаметр несущего винта, м	—	—	—	—	14,5	21	35	21,3	13
4	Крейсерская скорость, км/ч	165	460	430	430	205	140	250	220	130
5	Продолжительность полета, ч	7	7	7	7	2	3,4	2	2,8	1
6	Дальность полета, км	1000	2000	2360	2000	200	450	480	460	400
8	Коммерческая нагрузка, т	1,4	—	—	—	0,7	1,5	12	4	0,9

9	Число пассажирских мест	10–12	42–50	–	–	7–8	10–12	65	28	6–7
---	-------------------------------	-------	-------	---	---	-----	-------	----	----	-----

### 3.4. Аэрофотосъемочные работы

Все виды АФС на территории РБ ранее выполнялись топографической службой МО РБ по договору с УП «Белгослес». В настоящее время проекты планов проведения аэрофотосъемочных работ составляются на основе перспективных планов проведения лесоустроительных работ. Заявка на проведение аэрофотосъемки подается в Геонадзор РБ, там получают данные о наличии материалов АФС, выполненных по заказам других организаций, и возможности их использования по давности, масштабу и качеству. В зависимости от этих данных решается вопрос об их использовании и проведении новой аэрофотосъемки. После разрешения на проведение работ и составления документации и сметы заявка подается в Генеральный штаб Вооруженных Сил РБ. Там отмечаются возможные запретные квадраты для фотографирования, если есть необходимость (в приграничных районах) – согласуется в МИД и комитете Погранвойск РБ.

В заявке должны быть указаны:

фотографируемый лесхоз;

площадь объекта;

вид снимков;

формат;

количество фотокопий;

необходимое перекрытие снимков;

технические требования к качеству снимков;

банковские реквизиты;

финансирование.

После удовлетворения заявки

– составляются технические указания и технический проект,

– утверждается состав комиссии по приемке материалов,

– составляется договор и калькуляция проводимых работ.

После утверждения всех документов начинаются непосредственно аэрофотосъемочные работы, которые подразделяются на

подготовительные,

летно-съемочные,

полевые фотолабораторные и

полевые фотограмметрические.

Подготовительные работы:

- 1) изучение местности,
- 2) подготовка карт,
- 3) расчет показателей плановой АФС,
- 4) проектирование маршрутов и т.д.

Для этого требуются:

- заданные значения масштаба фотографирования и фокусного расстояния АФА,
- формат аэрофотоснимка,
- заданные проценты продольного и поперечного перекрытий,
- размеры съемочного участка.

По этим исходным данным определяют высоту и базис фотографирования, интервал между экспозициями, число аэрофотоснимков в маршруте и на съемочный участок, а также время, необходимое для аэрофотосъемки всего участка.

По литературным и отчетным данным изучаются климатические и метеорологические показатели и результаты фенологических наблюдений для установления начала и конца съемочного периода, количество съемочных дней и их распределения по месяцам, определения количества летательных аппаратов. По перечисленным источникам составляется проект привязки и опознавания вершин квартальной сети и просек.

По составленному проекту в период полевых работ осуществляется привязка и опознавание вершин просечной сети и просек к замаркированным опознавательным знакам и контурным точкам, получившим отображение на аэрофотоснимках. При выполнении работ этого вида используются аэрофотоснимки крупного масштаба и данные журнала маркировки плановых опознаков для уточнения взаиморасположения просеки и близлежащего опознака, к которому она должна быть привязана. Привязка осуществляется методами, принятыми в геодезии. В результате определяется на аэрофотоснимках положение большинства вершин просечной сети и просек.

При предварительных работах используются *карты полетные и съемочные*. *Полетные* служат для ориентирования во время полетов от аэродромов до объектов съемки и обратно, *съемочные* – для точного ориентирования во время проведения АФС.

*Оформление полетной карты* проводится прежде чем приступить к проведению маршрутов: на полетную карту наносят границы участка, подлежащего съемке.



После нанесения границ участка на полетной карте выбирают и прочерчивают начальный маршрут в направлении восток-запад или запад-восток; по обе стороны от начального маршрута проводят маршруты, отстоящие один от другого на установленном расстоянии, и параллельные начальному маршруту

Начальный маршрут должен проходить по меньшей мере через два контура полетной карты. Такие контуры, называемые основными ориентирами, должны хорошо и легко опознаваться на местности.

Основными ориентирами могут служить крутые изгибы реки, населенные пункты, отдельные сооружения и др. Два из основных ориентиров начального маршрута должны находиться за пределами границ участка, подлежащего съемке, на расстоянии нескольких километров от границ. При нанесении на полетную карту крайних маршрутов необходимо, чтобы они перекрывали границу участка, подлежащего съемке, не менее чем на четверть маршрута

После изготовления полетной карты рассчитывают количество  $N$  аэроснимков, получаемое при прохождении всех аэрофотосъемочных маршрутов. Число  $N$  определится равенством

$$N = \sum_{i=1}^{i=k} n_i ,$$

где  $k$  – число аэрофотосъемочных маршрутов, нанесенных на полетную карту;  $n_i$  – количество аэроснимков в маршруте.

Число  $k$  подсчитывается непосредственно по полетной карте, а величина  $n_i$  рассчитывается следующим образом. Сначала определяют расстояние  $b$  между главными точками смежных аэроснимков маршрута, затем расстояние  $B$  на местности, соответствующее расстоянию  $b$ , т. е.

$$B = b \times m,$$

где  $m$  – масштаб снимка.

Расстояние  $B$  называется *базисом фотографирования*. Число аэроснимков  $n_i$ , которое нужно сделать при проложении прямолинейного аэрофотосъемочного маршрута и при условии строгого соблюдения заданной величины перекрытия, определится равенством

$$n_i = L_i / B + 1.$$

В этом равенстве  $L_i$  – длина аэрофотосъемочного маршрута.

Летно-съмочные работы. Для проведения АФС на самолетах дополнительно устанавливаются: автопилот с автоматом программного разворота (автоматическое самолетовождение), компас и курсовая система (направление полета), измеритель скорости и угла сноса, радиовысотомер, статоскоп и др. Точность полета по маршруту  $0,5^{\circ}$  и по высоте  $\pm 10$  м.

После установки оборудования прокладывается 2 – 3 маршрута и по качеству полученных снимков судят об установке оборудования, и его работе. При полете к объекту съемки набирается необходимая высота, определяется сила ветра, угол сноса и путевая скорость самолета.

С учетом величины угла сноса самолет разворачивается против ветра на угол упреждения. Значение путевой скорости самолета или другого носителя необходимо для вычисления интервала времени между экспозициями. Устанавливается экспозиция и интервал между экспозициями, открывается фотолук, снимается крышка и надевается светофильтр. При фотографировании местности следят за работой аппаратуры и прокладыванием аэрофотосъемочных маршрутов в соответствии с проектом.

Самолет подводится к первому маршруту с хорошо заметными ориентирами. АФА нивелируется по уровню и включается за 1 – 2 базиса до границы объекта, далее работает автоматически и выключается через 1 – 2 базиса после прохода границы объекта. В конце пленки делается 2 – 3 снимка в качестве пробных для фотолаборатории. В процессе съемки самолетовождение осуществляется по приборам и контролируется по наземным ориентирам.

Полевые фотолабораторные работы состоят из негативного и позитивного процессов. *Негативный процесс* включает проявление, фиксирование, промывку экспонированной аэропленки на специальных ручных или автоматизированных приборах. Затем аэрофильм поступает в фотолабораторию для изготовления позитивных отпечатков. *Позитивный процесс* заключается в получении контактных аэрофотоснимков, применяемых в последующем.

Полевые фотограмметрические работы включают нумерацию аэрофильмов, статограмм и высотограмм; контроль качества аэрофотосъемки по всем показателям в соответствии с техническими требованиями;

составление накидных монтажей;  
выявление необходимых исправлений и доделок; изготовление репродукции накидных монтажей;  
оценку качества съемки по законченным участкам, составление паспортов;  
подготовку, оформление и сдачу готовой продукции.

Нумерацию и регистрацию аэронегативов выполняют сразу после высушивания аэрофильмов. Каждый аэронегатив нумеруют с эмульсионной стороны в левом верхнем углу обратным (зеркальным) письмом. Кроме порядковых номеров аэрофотоснимков, подписывают дату и номенклатуру района аэрофотосъемки. Все аэронегативы регистрируют в журнале и направляют в фотолабораторию для изготовления контактной печати.

*Накидной монтаж* (соединение контактных отпечатков по их общим контурам) выполняют на деревянных щитах в границах съемочных трапеций международной разграфки или лесхоза.

Предварительно аэрофотоснимки раскладывают по маршрутам. Монтаж начинают с верхнего маршрута справа налево или слева направо, чтобы были видны номера аэрофотоснимков, которые последовательно накладывают один на другой, монтируют по контурам ситуации местности в местах перекрытий и закрепляют кнопками.

Каждый следующий маршрут увязывают с предыдущим по перекрытиям. Дав предварительную оценку качества аэрофотоснимков, устанавливают места, подлежащие повторной аэрофотосъемке, если перекрытия между аэрофотоснимками меньше заданной величины или имеются фотографические дефекты.

Камеральные работы являются проверкой выводов по использованию полевых материалов съемок для целей лесоустройства. Обработка полевых материалов состоит из последовательных процессов:

- а) сгущения планового обоснования;
- б) составление географической основы лесоустроительных планшетов по отдешифрированным в поле аэрофотоснимкам;
- в) накладка квартальной сети на лесоустроительные планшеты.

В результате выполнения аэрофотосъемки должны быть сданы следующие материалы и документы:

- 1) спектрзональные аэрофильмы в неразрезанном виде;
- 2) негативы репродукций накидных монтажей;

- 3) репродукция накидного монтажа масштаба 1/60 000;
- 4) накидной монтаж аэронегативов ;
- 5) спектрозональные аэрофотоснимки контактной печати;
- 6) паспорта аэрофотосъемки, в которые записываются все данные аэрофотосъемки, и оценка качества выполненных работ;
- 7) картограммы выполненных работ;
- 8) журналы регистрации аэрофотосъемочных материалов.

## **4. ТЕХНИЧЕСКИ СРЕДСТВА АЭРОСЪЕМКИ**

### **4.1. Аэрофотосъемочное оборудование. Аэрофотопленка и фотобумага**

Для проведения АФС используются самолеты АН-30, вертолеты МИ-2 и КА-26 и аэрофотокамера РС-300 с размером кадра 25×25 см. Масштаб съемки 1/10 000. Стоимость 1 км<sup>2</sup> (100 га) примерно 10 у.е.

В комплект аэрофотосъемочного оборудования входит: аэрофотоаппарат (АФА), гидростабилизирующая установка, электронный командный прибор, набор светофильтров, аэроэкспонетр и др.

АФА – автоматический оптико-механический прибор для фотографирования земной поверхности с летательных аппаратов. В АФА имеется оптическая система – объектив, устройство для хранения и транспортировки пленки – кассета, корпус для крепления различных частей АФА. В конусной части расположен объектив, светофильтры, диафрагма, система для предотвращения запотевания линз объектива. В корпусе располагаются регистрационные приборы, распределительный механизм и электродвигатель.

*Объектив* АФА проверяется через год в специальных мастерских, а выравнивающая доска – не более чем за 3 месяца до начала АФС (отклонение не более +/- 0,01 мм). *Разрешающая сила* объектива определяется при помощи *миры*, состоящей из отдельных групп штрихов, толщина которых равна промежутку между штрихами. Количество штрихов на протяжении одного миллиметра при переходе к следующей группе по порядку увеличивается. Разрешающей силой считается число раздельно различаемых линий на расстоянии 1 мм в изображении миры в плоскости коллиматора, при рассмотрении через объектив. Разрешающая сила зависит от относительного отверстия и от величины фокусного расстояния.

По своему назначению АФА подразделяются на *топографические* (предназначенные для проведения точных съемок) и *специальные* – для получения АФС с высокими дешифровочными свойствами.

*Аэропленка* – лавсановая (целлюлоидная) лента, покрытая слоем светочувствительной эмульсии (слой желатина, в котором взвешены кристаллики бромистого ( $\text{AgBr}$ ) с примесью йодистого ( $\text{AgI}$ ) серебра. Аэропленки подразделяются на черно-белые, цветные и спектрональные.

*Черно-белые* аэропленки подразделяются на обыкновенные *несенсибилизированные*, чувствительные к фиолетовым, синим и голубым лучам спектра (длина волны – 390–505 нм), и *сенсибилизированные*, чувствительные к различным лучам спектра (*ортохроматические* – зеленым и желтым (500–525 нм), *панхроматические* – ко всем видимым лучам (400–730 нм) с понижением чувствительности в зоне зеленых лучей (500–550 нм), *изопанхроматические* – ко всем видимым лучам (400–730 нм), *инфракрасные* – к инфракрасным лучам (длина волны более 750 нм), *панинфракроматические*, чувствительные ко всем лучам видимой области спектра и частично к ИК-зоне невидимого спектра).

*Сенсибилизация* – введение в светочувствительный слой фотопленки специальных органических красителей – сенсибилизаторов. Под их воздействием бромистое серебро приобретает чувствительность к определенным лучам спектра.

*Цветные пленки* (ЦН-1, ЦН-3, ДС-5) состоят из трех эмульсионных слоев. Верхний – светочувствительный слой, представляющий несенсиблированную эмульсию, – наиболее чувствителен к синей зоне спектра, средний – ортохроматический – к зеленым лучам, а нижний – панхроматический – к красным. Сочетая синий, зеленый и красный спектр, можно получить все имеющиеся в природе цвета и оттенки. Для устранения влияния фиолетово-сине-голубых лучей на средний и нижний слои между верхним и средним светочувствительными слоями пленки введен тонкий желтый фильтровый слой, а под подложку – лаковый зеленый противоореольный. Все три светочувствительных слоя имеют химические вещества – компоненты, которые во время проявления окрашивают изображение в три цвета: верхний слой – в желтый, средний – в пурпурный, нижний – в голубой. В результате фотолабораторной обработки получают негативы с

изображениями объектов в дополнительных цветах.

*Спектрозональные пленки* – двухслойные СН-6, СН-6М, СН-8, СН-10 и трехслойные СН-15 и СН-23. В лесном дешифрировании наиболее часто применяют аэропленку СН-15. Она имеет три светочувствительных слоя: верхний – инфрахроматический, чувствительный к синим и красным лучам, с зоной светочувствительности 680 – 840 нм, средний – панхроматический, с зоной спектральной светочувствительности 530 – 700 нм (видимая область спектра), и нижний – ортохроматический, светочувствительный в зоне 510 – 600 нм. Эффективная светочувствительность за светофильтром ЖС-18 – 170 ед., разрешающая способность 110 лин/мм. Максимальная оптическая плотность пленки – 2,47–2,79, коэффициент контрастности – 1,9–2,1. Пленка выпускается в рулонах шириной 3,5, 7, 8, 13, 19, 24 и 32 см и длиной по требованию заказчика (в лесоустроительных работах 0,24 м×76 м).

При изготовлении спектрозональной пленки в каждый светочувствительный слой вводят красители, которые после экспонирования и проявления пленки окрашивают фотоизображение в различные цвета. В инфрахроматический слой вводят сине-зеленый краситель, в панхроматический – пурпурный. Поэтому объекты на спектрозональных снимках окрашены обычно в условные (ложные) цвета, но различия в цветах древесных пород достигают максимальных величин. Хвойные породы фиксируются в основном панхроматическим слоем. На негативе пленки СН-15 они имеют пурпурный цвет. Лиственные породы изображаются на негативе сине-зеленым цветом, фиксируются в основном инфрахроматическим слоем.

*Фотографические свойства* пленки характеризуются общей и спектральной светочувствительностью, вуалью, контрастностью, шириной и разрешающей способностью.

Светочувствительность пленки устанавливают по результатам сенситометрических испытаний. При испытаниях пленку помещают в сенситометр и подвергают действию света, проходящего через оптический клин со ступенями различной плотности.

*Общая светочувствительность пленки* – способность ее после экспонирования и проявления чернеть, т. е. достигать определенной оптической плотности. Численно светочувствительность есть величина, обратно пропорциональная экспозиции, создающей на

фотографической эмульсии некоторую плотность. Светочувствительность аэропленки определяют по экспозиции, которая создает почернение, превышающее плотность вуали на величину, равную 0,85.

*Спектральная чувствительность*, или цветочувствительность (чувствительность пленки к определенным зонам спектра), определяет свойства эмульсии передавать цвета фотографируемых объектов различными цветовыми оттенками на цветных и спектрально-цветных пленках.

*Контрастность* пленки характеризует способность эмульсии передавать различие в яркости отдельных частей снимаемых объектов. Фотопленки различают по степени контрастности: мягкие с контрастом 1,0 и ниже, нормальные – от 1,1 до 1,4, контрастные – от 1,5 до 1,9, особо контрастные – свыше 2,0. Разрешающая способность пленки определяется фотоэмульсией и зависит от светочувствительности и размеров кристалликов йодистого серебра. Пленки, применяемые для аэрофотосъемки, имеют разрешающую способность 60–250 лин/мм.

*Разрешающую способность эмульсионного слоя*, как и разрешающую силу объектива, выражают количеством линий на 1 мм. Определяется она при помощи специального прибора *резольвометра*. Испытуемый эмульсионный слой располагают точно в фокальной плоскости и фотографируют миру. Полученные изображения рассматривают в микроскоп с 50–80-кратным увеличением. Разрешающая способность обычных аэропленок составляет 80 лин/мм. Мелкозернистые тонкослойные аэропленки фотомеханической репродукции имеют разрешающую способность, иногда превышающую 200 лин/мм.

Разрешающая способность системы объектив-аэропленка на практике оказывается значительно ниже отдельных величин разрешающих способностей объектива и аэропленки.

Во-первых, земной ландшафт является объектом малоконтрастным, а штриховая мира имеет наибольший контраст. Поэтому фотографические явления в эмульсионном слое будут протекать различно для ландшафта и миры, а следовательно, и разрешающая способность будет неодинаковой.

Во-вторых, фотографирование ландшафта производится с больших высот через большую толщу воздуха и при наличии воздушной дымки. Воздушная дымка имеет голубой цвет и довольно

большую яркость, суммирующуюся с яркостью фотографируемых объектов. Поэтому пограничные контрасты у смежных контуров понижаются, т.е. уменьшается разрешающая способность аэроснимка. Применяемые для устранения дымки светофильтры вносят в фотографическое изображение собственные искажения другого рода, так что разрешающая способность аэроснимка и в этом случае будет ниже той, которая была получена в лаборатории.

Фотобумага. Для изготовления аэрофотоснимков (отпечатков) применяют черно-белую, спектрзональную двухслойную и цветную трехслойную бумагу.

Черно-белую фотобумагу изготавливают путем полива светочувствительной бромосеребряной эмульсии на бумажную основу. Поверхность фотобумаги может быть глянцевая, полуматовая и матовая. Наиболее распространена глянцевая, которая лучше передает фотоизображение. Матовая удобна для работы в лесу, но дешифровочные свойства ее ниже из-за потери резкости в передаче мелких деталей.

Двухслойная спектрзональная фотобумага предназначена для печати с негативов спектрзональных пленок. Верхний слой наиболее чувствителен к зеленым лучам, нижний – к красным. На такой фотобумаге листовые породы зеленого или голубовато-зеленого цвета, хвойные – буровато-коричневого.

Для печати с цветных и спектрзональных аэропленок применяют трехслойную цветную. В каждом слое имеются свои цветные компоненты. Для лесного дешифрирования предпочтительнее аэрофотоснимки, изготовленные на трехслойной цветной фотобумаге, поскольку она ярче и передает больше различий в цветовых оттенках древесных пород. Аэрофотоснимки на этой фотобумаге с цветных трехслойных аэропленок дают изображения, близкие по цвету к натуральным, а со спектрзональных аэропленок – в условных цветах (хвойные – синевато-зеленые, листовые – оранжевые или желтые).

В последние годы при контурном дешифрировании в лесоустроительных целях используются также цветные ксерокопии аэрофотоснимков масштаба 1/10 000, полученные с аэрофотоснимков масштаба 1/15 000.



#### **4.3. Нефотографические съемочные системы: сканирующие, телевизионные и радиолокационные**

Недостатком фотосъемки является необходимость доставки фотопленки для ее обработки. Этот недостаток устраняется при сканерной и телевизионной съемке. Они дают возможность систематического получения изображений поверхности Земли при быстрой передаче его на приемные станции. При выполнении этих съемок используют кадровые и сканирующие системы.

При кадровой телевизионной съемке используется миниатюрная телевизионная камера, в которой оптическое изображение, построенное объективом на экране, при считывании электронным лучом переводится в форму электросигналов и фиксируется на носителе или передается на землю.

При сканировании каждый сигнал (пиксел) передает обобщенные характеристики элемента земной поверхности. Колебание зеркала создает строку изображения. Поступательное движение носителя формирует совокупность строк, в свою очередь, формирует снимок. Эта технология напоминает щелевую аэрофотосъемку.

Для оперативной и дежурной оценки состояния лесов в рамках ГНТП «Леса Беларуси» НИУ ПФП Белгосуниверситета был создан авиационный аппаратно-программный комплекс ВСК-2, который основан на методах дистанционной спектроскопии и спектрально-поляризационной съемки изображений. Комплекс устанавливается в оперативном режиме (20 мин) на борт вертолета МИ-2 ГУ «Беллесавиа».

Он включает в себя бортовой комплект аппаратуры для измерений с борта авиационных носителей и стационарный комплект аппаратуры для тематической обработки данных. Комплекс позволяет проводить диагностику патологии лесов, картографировать очаги массового поражения лесных насаждений вредителями, болезнями, пожарами и т.п., оценивать нанесенный ими ущерб, повышать оперативность и качество инвентаризации лесов (оценивать породный состав, площади и т.п.).

Аппаратно-программный комплекс предназначен для регистрации, обработки и представления пространственной и спектрополяризационной информации в виде телевизионных (ТВ), спектрально-поляризационных и спектрополяризационных изображений, а также в

виде спектров высокого разрешения исследуемых участков, которые повышают информативность получаемых данных.

В бортовой комплект аппаратуры комплекса входит выносной блок оптических модулей и бортовой управляющий вычислительный комплекс. Выносной блок оптических приемных модулей выполнен в едином корпусе и предназначен для установки с помощью сменных кронштейнов на внешней подвеске вертолета МИ-2 или на иллюминаторе внутри самолета АН-2.

Стационарный комплект аппаратуры наземного базирования (центр обработки данных) состоит из стандартных средств вычислительной техники: ЭВМ, сканера, принтеров и видеомагнитофона. Центр предназначен для обработки данных, полученных бортовым комплектом аппаратуры, и позволяет оцифровывать изображения ТВ формата, просматривать, анализировать и тематически обрабатывать видеоспектральные данные в виде тематических карт и картосхем.

За рубежом разработан EnsoMOSAIC (рис. 7). Оба сканирующих комплекса основаны на совместном использовании цифровых фотокамер и компьютеров для обработки информации. Используемый компьютер в комплексе EnsoMOSAIC имеет навигационный контроль за самолетом за счет GPS-приемника, оснащен боксом для цифровой камеры и конвертером для передачи информации с камеры. В комплексе используется две цифровые камеры: Nikon D1 со светочувствительностью 24 бита и разрешением  $2012 \times 1324$  и Minolta RD-175 с разрешением  $1528 \times 1146$  и имеющая два зеленых, голубой и красный сенсора. Система работает в видимой зоне спектра, а также в инфра-красной зоне. Разрешение на местности составляет 0,3–3 м. Полученная информация совместима и может использоваться в ARCINFO, ARCVIEW, MAPINFO, ERDAS.



Рис.7 Комплекс EnsoMOSAIC

Полученные путем сканирования снимки могут передаваться в цифровом виде и являются основой для последующего дешифрирования и создания картографических материалов.

Преимуществом радиодиапазона является окно прозрачности атмосферы, которое включает длины волн от 1 см до 10м. Благодаря этому радиолокационная съемка освобождается от влияния атмосферы. Однако большая длина волны не дает необходимой для ведения лесного хозяйства точности обследования земной поверхности, вследствие чего радиолокационное исследование лесных массивов не нашло широкого использования.

#### **4.4. Оценка качества материалов аэрофотосъемки**

Процесс аэрофотосъемки завершается проявлением и сушкой экспонированной аэропленки, нумерацией негативов, изготовлением с них контактных отпечатков и оценкой качества результатов летносъемочных работ, включая в них фотографические работы. Для проверки качества летно-съемочных работ составляют наглядный монтаж по идентичным контурам контактных отпечатков. Монтаж производится на фанерных листах, к которым аэроснимки

прикрепляются кнопками. С уменьшением в 3–4 раза изготавливается репродукция (фотография) накидного монтажа (отбор нужных АФС).

Оценка качества летно-съёмочных работ производится в соответствии с инструкциями и наставлениями.

К результатам этих работ предъявляется ряд требований:

- 1) маршруты и очертания их должны быть прямолинейными;
- 2) разность высот фотографирования и углы наклона аэроснимков должны быть наименьшими;
- 3) расхождения между заданными величинами перекрытий и полученными в действительности должны быть наименьшими;
- 4) расхождение между рассчитанным и полученным числом аэроснимков должно быть наименьшим;
- 5) фотографическое качество аэроснимков должно быть достаточно высоким.

При исследовании прямолинейности маршрута на накидном монтаже соединяют прямой линией крайние главные точки. Длину прямой между этими точками измеряют при помощи линейки с миллиметровыми делениями, кроме того, измеряют наибольшее отклонение  $\Delta i$  от линии главных точек аэроснимков.

Величина  $(\Delta i/L) \cdot 100\%$  характеризует *непрямолинейность* маршрута. Она не должна превышать 3%.

*Прямолинейность* очертаний маршрутов проверяется путем измерения углов между начальными направлениями и сторонами аэроснимков. Эти углы не должны быть больше  $5^\circ$  («елочка»).

При изменении во время аэрофотосъёмочного полета высоты изменяется и масштаб аэроснимка. Таким образом, масштабы отдельных аэроснимков не равны между собой, возникает так называемая *разномасштабность* аэроснимков.

Высота фотографирования над средней плоскостью съёмочного участка может отличаться от заданной не более чем на 5%, а при высоте полета до 1000 м – не более чем на 50 м. *Разновысотность* в пределах маршрута не должно превышать 50 м.

В пересеченной местности высоту фотографирования определяют по показаниям радиовысотомера или по расстояниям, измеренным на аэроснимках и карте. Колебания высоты фотографирования определяют по барограммам.

*Углы наклона* определяют по изображениям круглого уровня. При высоте фотографирования 750 м и более количество аэроснимков

с углами наклона более  $2^{\circ}$  не должно превышать 18% от общего числа их. Аэроснимки с углами наклона свыше  $3^{\circ}$  не допускаются.

*Перекрытия аэроснимков* контролируют по точкам местности с наибольшими высотами. *Продольное перекрытие* должно быть не меньше 50%, а *поперечное перекрытие* – 15%. Значение действительных перекрытий аэроснимков измеряют по накидному монтажу при помощи специальной или миллиметровой линейки, позволяющей отсчитывать величины перекрытий в процентах.

Число аэроснимков, необходимое для фотографирования всего участка, как правило, определяется подсчетом аэроснимков накидного монтажа.

#### **4.5. Требования к качеству материалов аэрофотосъемки для целей лесоустройства**

Фотографическое качество аэрофотоснимков оценивают, последовательно просматривая их и глазомерно определяя степень удовлетворения требованиям, которые предъявляются к ним действующими инструкциями.

Резкость и проработка деталей в затененных и освещенных местах должны быть достаточными по всему полю изображения. На аэрофотоснимках должны отображаться все детали, которые имеются на негативе. Плотность и контрастность должны быть достаточными и равномерно распределены в центре и на краях. Для спектрозональных негативов максимальная плотность деталей на негативе не должна превышать 1,8–2,0 единицы. Коэффициент контрастности должен находиться в пределах 1,4–1,8, при этом разбалансировка слоев не должна быть выше 0,4–0,5 единицы. Вуаль не должна препятствовать получению качественной печати, т. е. должна соответствовать техническим условиям, предусмотренным фабрикой на данный тип аэропленки: для спектрозональных негативов вуаль голубая – не более 0,6, вуаль пурпурная – не более 0,4.

Не подлежат приемке спектрозональные негативы, снятые при повышенной дымке. Они характеризуются передержкой для пурпурного слоя, малым контрастом, монотонностью всего изображения (тени от деревьев имеют на них ярко выраженную пурпурную окраску вместо серой). Изображения облаков и теней от них, царапины, пятна, полосы и другие дефекты не должны

препятствовать дешифрированию и выполнению фотограмметрических работ. Спектрозональные аэронегативы должны иметь ярко выраженное цветоделение, изображения хвойных и лиственных пород должны заметно различаться по цвету на всей площади, ограниченной изображением контрольных нитей. Нельзя допускать разницу цветового тона как между аэрофотоснимками одного маршрута, так и различных маршрутов. Цветопередача по всему объекту должна быть одинаковой.

Если материалы аэрофотосъемки предназначены для стереофотограмметрической обработки, в начале и конце каждого маршрута и на каждом пятом аэронегативе измеряют отклонения от прямой изображения контрольных нитей. Отклонения, величина которых превышает 0,10 мм, признаются недопустимыми. Качество аэрофотосъемки оценивают по количеству аэроснимков и их фотографическому качеству.

Аэрофотосъемка, отвечающая изложенным выше требованиям, считается выполненной

отлично, если отношение полученных в действительности снимков к расчетному меньше либо равно 1,07 и не менее 75% аэронегативов отличного фотографического качества;

хорошо, если отношение количества снимков меньше либо равно 1,15 и фотографическое качество аэронегативов не ниже допустимого;

удовлетворительно, если показатель отношения менее 1,25 и фотографическое качество аэронегативов не ниже допустимого.

## **5. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЭРОФОТОСНИМКОВ**

### **5.1. Аэрофотоснимок – центральная проекция. Элементы ориентирования аэрофотоснимков**

С геометрической точки зрения АФС представляет *центральную проекцию сфотографированной местности*. На АФС, как центральной проекции, имеется ряд точек и линий, обладающих особыми свойствами. Рассмотрим наиболее общий случай, когда АФС наклонен к горизонтальной плоскости( рис. 8).

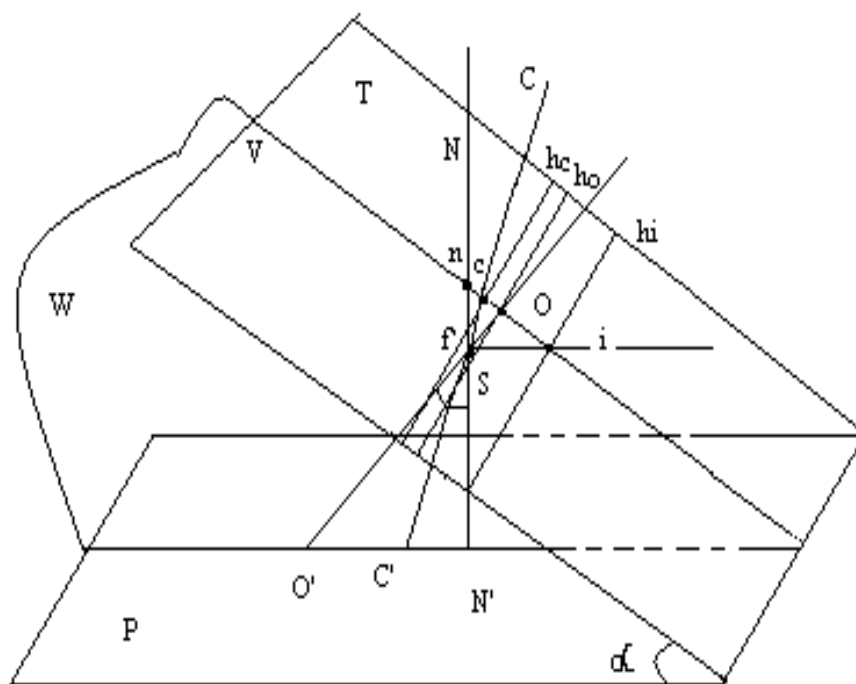


Рис. 8. Основные точки и оси центральной проекции

$T$  – предметная плоскость (горизонтальная плоскость);

$P$  – картинная плоскость (аэронегатив);

$O$  – центр проекции (передняя узловая точка объектива);

$OS$  – луч, проходящий через центр проекции перпендикулярно картинной плоскости – главный проектирующий луч – главная оптическая ось АФА;

$S(f)$  – фокусное расстояние АФА – расстояние от задней узловой точки объектива до картинной плоскости (с точностью 0,01 мм);

$NO$  – отвесная линия, проходящая через центр проекции, *надир*;

$OO'$  ( $H$ ) – высота АФС – расстояние от передней узловой точки объектива до предметной плоскости;

$\alpha$  – угол наклона оптической оси АФА – угол между предметной и картинной плоскостями – угол между отвесной прямой и оптической осью АФА;

$W$  – плоскость главного вертикала – плоскость, проходящая через отвесную линию и оптическую ось АФА;

$VV$ – *главная вертикаль* – линия пересечения плоскости главного вертикала с картинной плоскостью. Она принимается за ось абсцисс ( $XX$ ) АФС.

Линии на картинной плоскости ( $hh$ ), перпендикулярные главной вертикали, называются *горизонталями*. Горизонталь, проходящая через главную точку, называется *главной горизонталью* ( $h_0h_0$ ) и принимается за ось ординат ( $yy$ ) АФС.

Линия пересечения горизонтальной плоскости с картинной, проходящая через центр проекции, называется *линией действительного горизонта* ( $h_ih_i$ ). На ней изображаются объекты, находящиеся в бесконечности.

*Главная точка схода* ( $i$ ) – точка пересечения главной вертикали с линией действительного горизонта. В ней сходятся изображения прямых линий, параллельных направлению АФС.

*Точка надира* ( $n$ ) – точка пересечения отвесной прямой, проходящей через центр проекции, с главной вертикалью. В ней сходятся продолжения изображений всех вертикальных объектов местности (деревьев). Поэтому направления (линии), проведенные из точки надира к краям АФС, свободны от искажений за рельеф.

*Точка нулевых искажений* ( $C$ ) – точка пересечения главной вертикали ( $XX$ ) с биссектрисой угла ( $NSO$ ) между отвесной линией и оптической осью АФА. Направления, проведенные из точки нулевых искажений к краям АФС в равнинной местности, свободны от искажений за наклон АФС. Поэтому углы на АФС, имеющие вершину в точке нулевых искажений, равны соответствующим углам на местности.

При отсутствии наклона АФС точка надира и точка нулевых искажений совмещаются с главной точкой АФС, а главная точка схода с линией действительного горизонта удаляются за пределы АФС в бесконечность. Для упрощения при составлении фотопланов в круге диаметром  $0,02 f$  или 1 см с центром в главной точке подбирается хорошо видная контурная точка, называемая *центральной*, которой присваиваются свойства главной, нулевых искажений и надира.

Горизонталь ( $h_ch_c$ ), проведенная через точку нулевых искажений, называется *линией неискаженного масштаба*. Независимо от угла наклона на ней сохраняется постоянный масштаб  $1/m = f/H$ .

Когда картинная плоскость и проектируемый объект находятся по одну сторону от центра проектирования, в результате центрального



проектирования получается прямое (позитивное) изображение объекта. Когда плоскость и объект находятся по разные стороны, в результате центрального проектирования получается обратное (негативное) изображение проектируемого объекта.

Линия взаимного пересечения двух перспективно соответственных плоскостей называется *осью перспективы, или осью гомологии*.

В фотометрии большое значение имеют четыре кардинальные точки аэроснимка – *элементы внешнего ориентирования*:

- 1) главная точка  $o$ ,
- 2) точка нулевых искажений  $s$ ,
- 3) точка надира  $n$ ,
- 4) главная точка схода  $i$ .

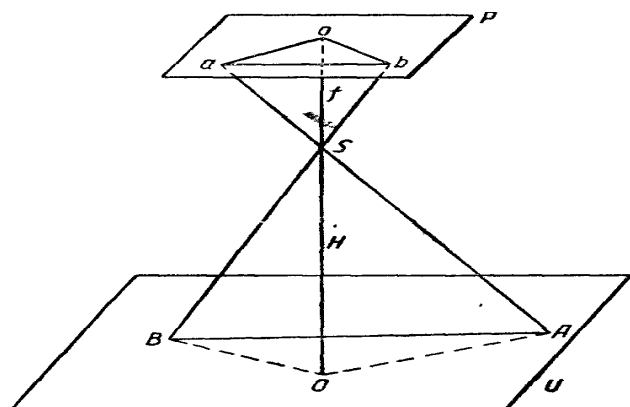
Главное (фокусное) расстояние аэрофотокамеры и координаты главной точки называются элементами внутреннего ориентирования. Угол отклонения главного направления от отвесной прямой, угол между осью перспективы и осью, фиксируемой на аэроснимке, координатные метки, высота фотографирования называются элементами внешнего ориентирования.

Для ориентирования этого плана относительно местности необходимо знать еще геодезические координаты  $X$  и  $Y$  центра проектирования и азимут линии направления съемки.

Зная фокусное расстояние и масштаб снимка, рассчитывается высота  $H$ , с которой должно производиться фотографирование. Пусть  $T$  на рис. 8 обозначает горизонтальную и плоскую земную поверхность,  $O$  – центр проектирования,  $SO = f$  – главное расстояние аэрофотокамеры. Когда главное направление  $OSO'$  в момент фотографирования занимает строго отвесное положение, это соответствует идеальному случаю плановой аэрофотосъемки. Высоту фотографирования  $SO'$  обозначим через  $H$ . Аэроснимок  $P$ , который должны были бы получить при идеальном случае плановой аэрофотосъемки, представлял бы собой план сфотографированной местности с точки зрения теории линейной перспективы.

Возьмем в плоскости  $U$  две произвольные контурные точки  $A$  и  $B$  (рис. 9). Соответственный им контур на аэроснимке  $P$  обозначим

через  $a$  и  $b$ , а масштаб снимка – через  $1/m_0$ . Тогда



$$\frac{1}{m_0} = \frac{ab}{AB} = \frac{f}{H} = \text{const}.$$

Следовательно, если величины  $1/m_0$  и  $f$  задаются, то высоту воздушного фотографирования вычисляем по формуле

Рис. 9. Определение масштаба АФС

$$H = f \times m_0.$$

## 5.2. Искажения изображения на аэрофотоснимках

Искажения изображения на АФС обуславливаются наклоном съемки, рельефом и изменением высоты съемки. Они разделяются на линейные и угловые. При наклоне аэрофосъемки угол между оптической осью и направлением на визируемую точку увеличивается и они смещаются к краю АФС. Величина смещения зависит от величины угла наклона, квадрата расстояния до точки нулевых искажений и обратно пропорциональна величине фокусного расстояния. Смещение точек приводит к искажению углов. Для уменьшения искажений при проведении АФС стремятся сохранить вертикальное положение оптической оси АФА.

В результате влияния рельефа визируемая точка изобразится в смещенной точке. Отрезок между смещенной точкой и точкой действительного нахождения представляет смещение точки за рельеф.

*Рабочая площадь* – центральная наименее искаженная часть аэрофотоснимка. Она ограничивается линиями, проведенными посередине поперечных и продольных перекрытий (рис. 10). Границы рабочей площади на смежных снимках должны быть строго совмещены. Для этого вблизи углов рабочей площади подбираются хорошо заметные контурные точки и соединяются прямыми линиями.

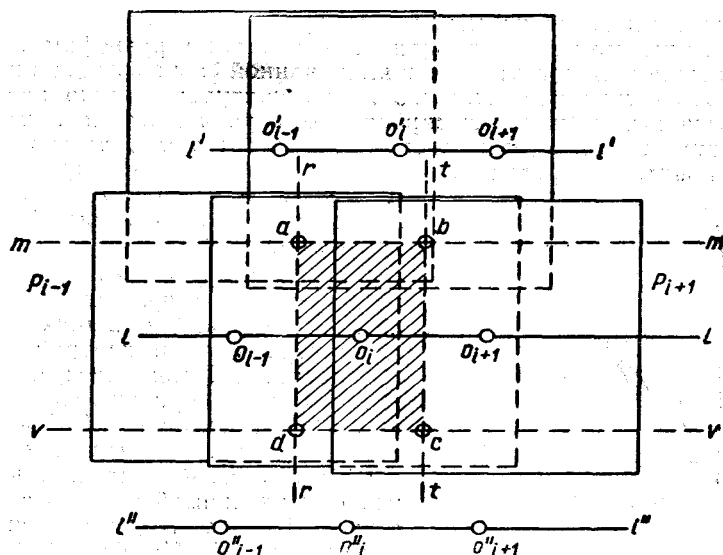


Рис. 10. Рабочая площадь аэрофотоснимка

Размер стороны рабочей площади по осям абсцисс и ординат определяется по формулам

$$l_x = l \times \frac{100 - P_x}{100}; \quad l_y = l \times \frac{100 - P_y}{100},$$

где  $l$  – длина стороны снимка, см;  $P_x$  и  $P_y$  – проценты горизонтального и поперечного перекрытий.

Характеризуется эта площадь лучшим фотографическим качеством изображения и меньшим искажением по сравнению с краями аэроснимка. При использовании полезной площади аэроснимка можно получить фотоплан сфотографированной местности без разрывов, так как стороны четырехугольников, ограничивающих полезные площади смежных аэроснимков, являются стыковыми линиями. При современном состоянии фотограмметрических работ аэроснимок может быть использован не только в пределах полезной площади, но и за ее пределами.

Величины продольных и поперечных перекрытий, выражаемые в процентах от длин сторон аэроснимков, будем обозначать буквами  $p$  и  $q$ . Они должны быть равны: продольное  $p = 60\%$  и поперечное  $q = 30\%$ ; при этом необходимо, чтобы одна из сторон аэроснимка  $l_x$  была параллельна оси маршрута, а другая  $l_y$  – перпендикулярна к ней. При выполнении этих условий величины  $p$  и  $q$ , выраженные в линейной мере, определяются следующими равенствами:

$$p_{\text{мм}} = \frac{p}{100} l_X, \text{ мм}; \quad q_{\text{мм}} = \frac{q}{100} l_Y, \text{ мм}.$$

Если базис  $b$  – расстояние между главными точками двух смежных аэроснимков, взаимно перекрывающихся на  $p\%$ , а  $d$  – расстояние между главными точками аэроснимков двух смежных маршрутов, взаимно перекрывающихся на  $q\%$ , то

$$b_{\text{мм}} = l_X \frac{100-p}{100}; \quad d_{\text{мм}} = l_Y \frac{100-q}{100}.$$

Величина продольного перекрытия  $p$  зависит от величины промежутка времени между двумя последующими моментами экспонирования. Очевидно, что промежуток времени  $T$  должен быть рассчитан так, чтобы за этот промежуток времени самолет пролетал расстояние  $B = b \times m_0$ . Обозначим путевую скорость самолета через  $W$ . Между величинами  $B$ ,  $T$  и  $W$  существует зависимость:

$$T = \frac{B}{W} = \frac{bm_0}{W}, \text{ тогда } T = \frac{100-p}{100} \times \frac{m_0 l_X}{W}.$$

*Сдвиг оптического изображения* – смещение оптического изображения на поверхности аэропленки при открытом затворе.

На один и тот же участок аэропленки будут последовательно попадать проектирующие лучи от объектов, над которыми пролетает самолет (рис.11). Это выразится в виде увеличенной полосы размытости, нерезкости и искажения размеров фотографического изображения. Объекты малых размеров могут в этом случае вовсе не изобразиться. Сдвиг оптического изображения должен отсутствовать. При любом виде аэрофотосъемки применяются затворы только с моментальной выдержкой.

Пусть на рисунке  $P'$  – плоскость светочувствительного слоя аэропленки в начальный момент экспонирования, соответствующий моменту открытия затвора. Изображение контурной точки  $A$  местности на плоскости  $P'$  в начальный момент открытия затвора обозначим через  $a'$ , а центр проектирования – через  $S'$ . Для конечного момента экспонирования, которому соответствует момент закрытия затвора, плоскость, центр проектирования и точка обозначены соответственно через  $P''$ ,  $S''$  и  $a''$ .

Таким образом, отрезок  $S'S''$  соответствует расстоянию, пройденному самолетом за время выдержки  $t$ . Аэрофотозатвор за время прохождения самолетом расстояния  $S'S''$  оставался открытым. Очевидно, что

$$S'S'' = W \times t,$$

где  $W$  – путевая скорость самолета. Проведем прямую  $A''S''a_1''$ , параллельную прямой  $A'S'a'$ . Очевидно, что точка  $A'$  на аэроснимке изобразится не точкой  $a'$  и  $a''$ , а отрезком  $a_1'a''$ . За время экспозиции центр проекции переместится на расстояние  $S'S''$ , а изображение точки  $A$  переместится из точки  $a'$  в точку  $a_1'$  – сдвиг изображения ( $\varepsilon$ ).

Из подобия треугольников  $A'S'S'$  и  $Sa'a_1'$  имеем:

$$\frac{\varepsilon}{Wt} = \frac{f}{H}, \text{ так как } \frac{f}{H} = \frac{1}{m}, \text{ тогда } \frac{\varepsilon}{Wt} = \frac{1}{m}, \text{ отсюда } \varepsilon = \frac{Wt}{m}.$$

Допустимая величина сдвига 0,05 мм. Для обеспечения этого требования вычисляется величина максимально допустимой экспозиции, при определенной скорости полета.

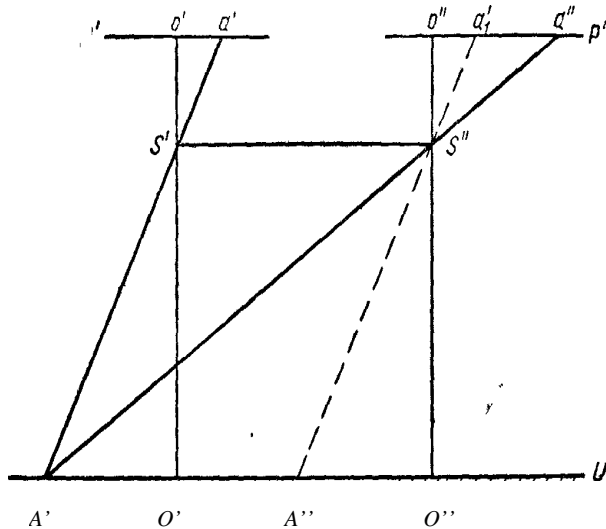


Рис. 11. Сдвиг изображения

При открытом затворе в течение времени  $t$  смещение оптического изображения (м/с)

$$t_{max} = \varepsilon m / W.$$

Чтобы можно было отрезок  $a'a''$  считать точкой, необходимо неравенство  $\varepsilon \leq \mu$ , где  $\mu$  – величина нерезкости изображения, которой можно в некоторых случаях пренебречь. При фотографировании местности можно полагать  $\mu$  равной 0,03–0,05 мм. При подстановке в неравенство

вместо  $\varepsilon$  его значение  $b$ , полученное неравенство, решим относительно  $t$ :

$$t \leq \frac{H\mu}{fW}.$$

Это неравенство определяет то предельное значение промежутка времени, в течение которого затвор может оставаться открытым во время полета самолета, без существенного влияния на резкость фотографического изображения.

Если  $W=80$  м/сек,  $H=3000$  м,  $f=200$  мм,  $\mu=0,04$  мм, то  $t \leq 1/133$  с. Следовательно, аэрофотозатвор должен работать с выдержками, исчисляемыми сотыми или даже тысячными долями секунды.

### **5.3. Основы стереоскопического зрения. Стереоскопические измерения на аэрофотоснимках**

При рассмотрении объектов двумя глазами (бинокулярное зрение) лучше воспринимается их форма, размеры, взаимное расположение и расстояние до них. При этом объекты воспринимаются не одинаково: правый глаз видит переднюю и правую стороны, левый – заднюю и левую сторону. В головном мозгу эти восприятия сливаются в одно четкое пространственное (объемное) восприятие. Бинокулярное зрение, при котором хорошо воспринимается форма и размеры объектов, их взаимное расположение называется стереоскопическим.

Стереоскопическое восприятие можно получить, рассматривая не сами объекты, а их фотографии, сделанные с различных точек.

Зрительное восприятие двух фотоизображений в виде одного пространственного называется *стереоскопическим эффектом*. Пространственное восприятие местности с помощью стереоскопического эффекта называют *стереоскопической моделью*, на которой можно проводить измерения высот объектов и изображение рельефа в горизонталях. Перекрывающиеся части смежных снимков в маршрутах являются фотографиями одного участка местности с различных точек, и их используют для получения стереоэффекта.

Различают прямой, обратный и нулевой стереоэффект.

Прямой – восприятие аналогично местности.

Обратный – вывернута наизнанку.

Нулевой – плоское восприятие местности. Нулевой стереоэффект используется для оценки качества выравнивания аэропленок.

В лесотаксационном дешифрировании большое внимание уделяется определению высот отдельных деревьев и древостоев в целом. В основу измерительного дешифрирования высот положена геометрическая разность параллаксов.

За начало координат на каждом снимке принимается главная точка (центральная точка). При рассмотрении на смежных фотографиях (стереопаре) дерева на левом и правом снимках мы видим его с разных углов зрения (рис. 12). Поэтому абсциссы точек  $A$  и  $C$  на смежных снимках имеют противоположные знаки – по направлению полета – положительные, противоположные – отрицательные.

Из точки  $S_2$  проведем прямую параллельную  $S_1AC$  до пересечения с АФС. Длина абсциссы  $X(a, c)$  на правом АФС будет равна  $X(a, c)$  на левом АФС. На правом (втором) снимке рассмотрим отрезки  $P_c$  и  $P_a$ .

$$P_c = O_2C_2 + O_2C_1 = X_{C2} + X_{C1}$$

$$P_a = O_2A_2 + O_2A_1 = X_{A2} + X_{A1}$$

Вместо суммы берется разность абсцисс, так как они имеют противоположные знаки. Разность абсцисс одноименных точек на смежных снимках называется *продольным параллаксом* ( $P$ ).

Из подобия треугольников  $CS_1S_2$  и  $S_2C_1C_2$

$$\frac{P_C}{B} = \frac{f}{H}, \text{ отсюда } P_C = B \cdot \frac{f}{H} = B \cdot \frac{1}{m} = b$$

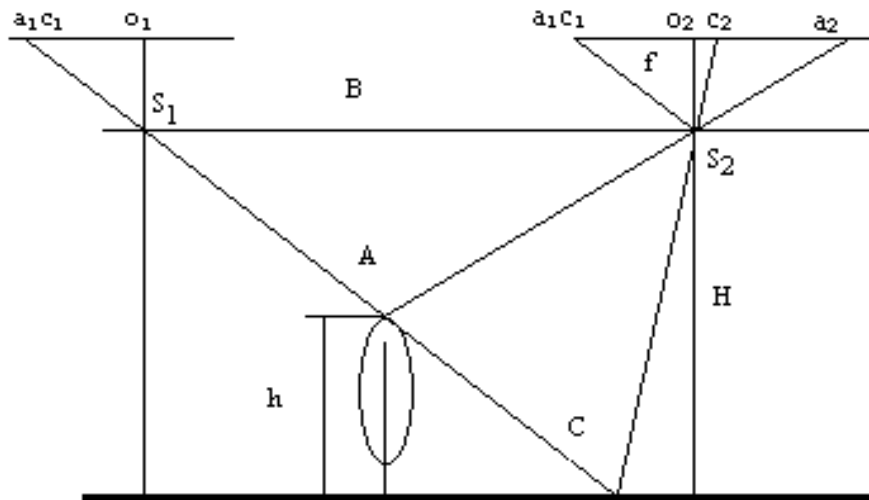


Рис. 12. Определение высоты деревьев при помощи стереометра.

Продольный параллакс точки  $C$  равен базису фотографирования в масштабе АФС ( $b$ ).

Из подобия треугольников  $AS_1S_2$  и  $S_2a_1a_2$

$$\frac{P_a}{B} = \frac{f}{H-h}, \text{ отсюда } P_a = B \cdot \frac{f}{H-h}$$

Чем ближе к центру проекции (выше) находится точка, тем больше ее продольный параллакс.

Возьмем разность  $P_c$  и  $P_a$

$$\Delta P = P_a - P_c = B \cdot \frac{f}{H} - B \cdot \frac{f}{H-h} = \frac{BHf - BHf + Bhf}{H(H-h)} = B \cdot \frac{f}{H} \cdot \frac{h}{H-h} = \frac{b \cdot h}{H-h}$$

$$\Delta P = \frac{b \cdot h}{H-h}$$

$$H \cdot \Delta P - h \cdot \Delta P = b \cdot h, \quad H \cdot \Delta P = b \cdot h + h \cdot \Delta P = h(b + \Delta P)$$

$$h = \frac{H}{b + \Delta P} \Delta P \approx \frac{H}{b} \cdot \Delta P$$

При незначительных разницах в высотах  $\Delta P$  в знаменателе пренебрегают и используют



$$h = \frac{H}{b} \cdot \Delta P,$$

где  $H$  – определяется по показаниям высотомеров или измерений на местности,  $b$  –измеряется на левом снимке.

Точность вычислений уменьшается незначительно, так как  $\Delta P$  составляет лишь несколько миллиметров. При помощи стереоприборов  $\Delta P$  измеряется с точностью до  $\pm 0,02$ – $0,05$ мм.

#### **5.4. Информационные и изобразительные свойства аэрфотооснимков**

Рисунок фотоизображения формируется сочетанием цветов или черно-белых тонов (плотностей). Общий вид рисунка определяется формой и размерами объектов, их взаимным расположением, цветовым и тоновым различиями. На характер рисунка изображения значительное влияние оказывают: особенности местности, масштаб, разрешающая способность, тип фотоматериалов, условия съемки и т.д.

На сверхкрупномасштабных аэрофотоснимках характер рисунка определяется изображением крон отдельных деревьев и их теней. На них хорошо заметны форма и индивидуальные особенности крон деревьев, даже крупные ветви.

На крупномасштабных АФС кроны деревьев изображаются в более обобщенном (слаженном, генерализованном) виде.

На средне- и мелкомасштабных АФС изображаются кроны групп деревьев, но общая структура полога хорошо заметна.

На космических снимках леса воспринимаются как единое целое со специфическим рисунком, характер которого определяется особенностями почвенно-типологическим комплексам различных рангов.

С уменьшением масштаба изменяются все элементы рисунка (цвет, тон, размеры, форма), вызывая изменения характера изображения. При этом постепенно исчезают мелкие контура с малыми контрастами. Объекты разных оттенков изображаются обобщенным (интегрированным) цветом. Границы контуров выпрямляются и становятся более четкими и линейными.

Информационные свойства снимков. АКС представляет собой документальное изображение местности, на котором объекты

передаются скоплением отдельно различных точек – ее носителей. Поэтому количество получаемой информации зависит от размера точек (зерен эмульсии) и числа различных тонов, которые определяются разрешающей способностью и контрастностью. Поэтому объем информации зависит в основном от *масштаба и разрешающей способности*.

По крупномасштабным АФС можно получить подробную информацию об объектах, которой нельзя получить по планам и картам одинаковых масштабов.

На спектрональных снимках цветов и оттенков больше, чем тонов на черно-белых. Поэтому объем получаемой информации в несколько раз больше. Это дает возможность точнее устанавливать границы выделов и таксационные показатели насаждений.

С уменьшением масштаба исчезают мелкие объекты, особенно их детали. При этом резко уменьшается просматриваемость полого в глубину и значительно затрудняется использование измерительных приборов. В результате снижается объем получаемой информации.

С увеличением масштаба увеличивается объем информации, но значительно возрастает стоимость снимков и их использование становится экономически невыгодным. Для уменьшения стоимости проводится выборочная крупномасштабная съемка.

Опыт показывает, что для таксационного дешифрирования наиболее пригодны сверхкрупномасштабные АФС, однако наиболее часто используются снимки  $1/M=1/10\ 000 - 1/15\ 000$ , для картографических целей пригодны снимки более мелких масштабов.

Разрешающая способность аэроснимка связана с различием в цветах и размерах дешифрируемых объектов. Элементы ландшафта, которые служат содержанием топографической карты, изображаются на аэроснимке различными тонами (черные, серые, белые) и различными размерами.

Благодаря различию тонов смежных объектов – так называемому *пограничному контрасту* – распознаются границы контуров. Если тона будут почти одинаковыми, т.е. если величина пограничного контраста будет слишком мала, глаз не различит границу между ними и два контура сольются в одно целое. Точно так же, если размеры элементов ландшафта окажутся настолько малыми, что в масштабе аэроснимка будут иметь величины, соизмеримые с величиной зерен фотографической эмульсии и не изобразятся на аэроснимке, то нельзя будет судить об их существовании.

Предельно малое значение пограничного контраста и предельно малая величина объекта фотографирования определяют *разрешающую способность аэроснимка*. Существует ряд объектов, которые изображаются на аэроснимке, несмотря на то, что размер их изображения (по одному направлению) в масштабе съемки лежит за пределами разрешающей способности. Такими объектами могут быть узкие тропинки, рельсы и даже телеграфные провода.

Узкие, но длинные объекты возбуждают большое количество светочувствительных элементов сетчатки, вызывая зрительное ощущение объекта. Эта особенность является весьма выгодной при дешифрировании троп, железных дорог и т. п.

Величина разрешающей способности аэроснимка должна выражаться разнородными физическими единицами (мерой контраста и мерой величины объекта фотографирования), она зависит от:

- 1) оптических характеристик объектива,
- 2) фотографического слоя,
- 3) величины сдвига оптического изображения в момент фотографирования и, наконец,
- 4) условий фотохимической обработки.

Солнечный свет, отраженный от объектов ландшафта (леса, реки, луга и т. п.), попадает через объектив аэрофотоаппарата на поверхность светочувствительного эмульсионного слоя пластинки или аэропленки, где получается оптическое изображение.

Световые лучи не останавливаются на поверхности, проникают внутрь эмульсионного слоя и, в результате фотохимического эффекта, создают скрытое изображение. Наконец, для того чтобы получить видимое изображение, аэроснимок подвергают фотографической обработке. При этом самые яркие участки оптического изображения получают самыми черными и наоборот.

Степень почернения зависит от двух величин:

- 1) количества света, попавшего на эмульсионный слой, называемого экспозицией  $I$ ,

$$I = Et,$$

где  $E$  – освещенность эмульсионного слоя,  $t$  – продолжительность выдержки. Освещенность измеряется в люксах, выдержка – в секундах. Поэтому экспозиция выражается в люкс. секундах;

2) фотографического фактора  $\gamma$ , зависящего от характера матариалов и условий фотографической обработки.

Между почернением  $D$  и экспозицией  $I$  существует зависимость:

$$D = \gamma \lg I.$$

Противоположным почернению понятием является прозрачность  $\tau$ , т. е. процент света, пропускаемый данным участком аэроснимка. Согласно стандартным обозначениям,

$$D = \lg 1/\tau = -\lg \tau.$$

Следовательно, есть связь между экспозицией и прозрачностью пленки:

$$\gamma \lg I = -\lg \tau.$$

## **6.МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДРЕВОСТОЕВ**

### **6.1. Морфологический показатели структуры деревьев и древостоев**

На АФС изображаются только освещенные солнцем верхние части деревьев. Основные таксационные показатели (ср. диаметр, полнота, запас, бонитет и др.) не находят изображения на снимках. При проведении дешифрирования они определяются на основе корреляционных связей с показателями крон и полога. Поэтому изучение крон и полога и особенностей их изображения на снимках имеет очень важное значение для проведения таксационного дешифрирования АКС.

К *морфологическим* относятся показатели, определяющие внешний вид дерева или древостоя. Наибольшее представление о форме крон (вид сбоку) создается:

- 1) наибольшим диаметром ( $d_k$ ),
- 2) длиной кроны ( $b_k$ ),
- 3) высотой до наибольшего диаметра ( $hd_{\text{л}}$ ).

Чем выше располагается наибольший диаметр, тем тупее и закругленнее становится крона, тем лучше она освещается солнцем и отчетливее изображается на АФС.

Проф. Г. Г. Самойлович выделил 8 типов крон [23]:

- 1) конусовидные (ель),
- 2) эллипсовидные (береза, сосна),
- 3) параболоидные,
- 4) шаровидные (осина),
- 5) плосковершинные и куполообразные (осина),
- 6) неправильные,
- 7) узорчатые, раскидистые, плакучие,
- 8) сложные (дуб).

Формы вертикальных (в плане) проекций крон наиболее распространены следующие:

- 1) округлая,
- 2) эллипсовидная,
- 3) односторонне сжатая,
- 4) неправильная.

Форма проекций крон изменяется с возрастом, полнотой и условиями местопроизрастания.

К *морфологическим показателям полога* древостоя относятся:

- форма и размеры крон,
- вид полога (строение),
- количество деревьев и расстояние между ними,
- сомкнутость полога.

Г. Г. Самойлович выделил три вида строения полога:

- горизонтально-сомкнутый – кроны деревьев сходны по форме и размерам и смыкаются на одной высоте;
- вертикально-сомкнутый – верхние части крон нижнего яруса смыкаются с верхним или входят в его нижнюю часть;
- вертикально-ступенчатый – кроны деревьев смыкаются в горизонтальном и вертикальном направлениях.

*Сомкнутость полога* – отношение суммы площадей проекций крон к общей площади. Ее определяют линейным или точечным способом. При точечном способе проходя по линии (визиру) через 2 – 3 м, визируют вверх и отмечают точки под кроной, совпадающие с краем кроны и в промежутках между кронами. Совпадающие с краями крон точки в половинном размере суммируют с точками под кронами,

делят на их общее число и получают сомкнутость полога. Число точек должно быть не менее 200 – 300.

При линейном способе по параллельным линиям длиной не менее 200 м измеряют протяжение крон и промежутков. Отношение сумм протяжений проекций крон к общей длине линий дает сомкнутость полога.

## **6.2. Методика изучения морфологического строения древостоя**

Изучение морфологического строения древостоя проводится на таксационно-дешифровочных пробных площадях (ТДПП) и таксационно-дешифровочных выделах (ТДВ) (ОСТ 56-69-83). При проведении глазомерной таксации глазомерно определяются *форма и размеры крон, их густота, цвет листвы, сомкнутость полога* и другие показатели в натуре и на АФС.

При проведении перечета деревья разделяются по степени участия в формировании полога (свободно, частично закрыто, закрыто) и видимости на АФС. К *видимым* на АФС относятся свободные и частично закрытые (затененные) деревья, освещенная часть кроны которых больше разрешающей способности снимка 0,04–0,05мм на снимке (в масштабе 1/10 000 – в натуре 0,4–0,7м). Остальные деревья относятся к категории *невидимых*. Для учета освещенности перечень необходимо приурочивать ко времени АФС.

Для более детального изучения крон и полога в наиболее типичной части пробы вдоль одной из сторон отграничивается визирами полоса шириной 5–10 м так, чтобы на ней было не менее 20–25 деревьев. Полоса размечается на квадраты 5 м × 5 м или 10 м × 10 м. Путем промеров определяется местоположение каждого дерева, и оно наносится на пленку в масштабе 1/100 – 1/200.

На полосе проводится обмер всех деревьев: диаметр на 1,3м, высота, диаметр кроны, высота до наибольшего диаметра кроны, высота окончания кроны, определяются густота, окраска, участие кроны в пологе и видимость на АФС. По данным измерений вычерчивается план и профиль (вид сбоку) древостоя на полосе. Данные обмеров деревьев на полосе группируются по ступеням толщины, и выводится среднее значение.

Графически сглаживаются и по графику определяются средние величины высоты, диаметра кроны, длины кроны и т.д. На основе

таксации древостоя и отдельно верхней части полога, изобразившейся на АФС, устанавливают величины корректировок для повышения точности дешифрирования. Совместный анализ всех данных дает возможность выделить основные, наиболее характерные дешифровочные признаки.

*Профиль* – сечение древостоя произвольной вертикальной плоскостью. Эта плоскость называется профильной плоскостью, а ее проекция на горизонтальную плоскость – *профильной линией*. *Профильными деревьями* называются те деревья, кроны которых пересекают профильную плоскость или касаются ее, а *непрофильными* – те деревья, кроны которых не пересекают вертикальную профильную плоскость. *Профильная выборка* – это выборка, включающая все профильные деревья на данном отрезке профильной линии.

В пределах однородного древостоя обычно закладывают квадратные, круговые или прямоугольные пробные площадки, тогда ошибка выборочного среднего находится по известным в статистике формулам. При съемке авиапрофилографом профиль располагается на выделе случайным образом, а определенным является лишь общее направление съемки профиля.

### **6.3. Закономерности строения полога древостоев**

Изображение древостоев на АФС состоит из проекций крон деревьев различных размеров и более темных промежутков между ними. При этом распределения деревьев по диаметрам крон и диаметрам стволов на 1,3 м весьма близки к кривой нормального распределения. Это показатель тесной связи между этими распределениями. Установив характер связи, можно по среднему диаметру кроны определять средний диаметр стволов на 1,3 м.

Распределение деревьев по площадям проекций крон, высоте до наибольшего диаметра и длине крон также подчиняются закону нормального распределения и их можно использовать для определения среднего диаметра стволов на 1,3 м.

В древостоях старших возрастов на АФС  $1/M=1/10\ 000$  –  $1/15\ 000$  изображается 60–95% деревьев. Обычно не изображаются мелкие, низкие и часть средних стволов. В смешанных древостоях породы изображаются в следующем порядке: осина, сосна, береза, ольха, ель. Поэтому доля ели обычно занижается на 1–2 единицы, в

молодняках и средневозрастных – 3 единицы, а доля осины соответственно увеличивается.

Дешифровочные показатели относятся к верхней части полога. Для повышения точности их необходимо корректировать. Величина поправок определяется на основе взаимосвязей между таксационными и дешифровочными показателями.

#### **6.4. Ландшафты и их структура**

Под длительным воздействием климата, рельефа, поверхностных горных пород, геоботанических, гидрологических и комплекса других факторов поверхность Земли разделена на ряд природно-территориальных комплексов (ПТК) – природных зон: тундра, лесотундра, тайга, зона смешанных лесов, лесостепь и т.д.

В свою очередь, они делятся на более мелкие, но более однородные

- 1) ландшафты,
- 2) местности,
- 3) урочища и
- 4) фации (типы леса).

Несколько рядом расположенных фаций составляют урочище, несколько урочищ – местность, или ландшафт.

Территория РБ относится к зоне смешанных лесов. Здесь присутствуют подзоны (*ландшафты*):

- 1) широколиственно-еловых (дубово-темнохвойных) лесов,
- 2) елово-грабовых дубрав (грабово-дубово-темнохвойных) лесов,
- 3) грабовых дубрав (широколиственно-сосновых) лесов.

В пределах подзон выделено 7 лесорастительных районов (*местностей*), которые в свою очередь, подразделяются на подрайоны и лесные массивы (*урочища*) и далее – на типы леса (*фации*).

Для ПТК всех рангов характерна однородность поверхностных горных пород, рельефа, климата, увлажнения и почв, определяющих структуру и внешний вид лесов и особенности их изображения на АКС. Это дает возможность дешифрировать границы ПТК.

Совпадение границ геологической основы, почв и насаждений положено в основу ландшафтного метода дешифрирования – разделения территории на однородные ПТК (выдела). При этом



различия лесной растительности используются как индикаторы границ, хорошо заметные на АКС.

Однако при ландшафтном дешифрировании нельзя с достаточной степенью точности определить таксационные показатели насаждений. Поэтому в настоящее время таксационное дешифрирование проводится на основе сочетания ландшафтного и аналитико-измерительного методов дешифрирования.

#### **6.5. Корреляционные связи между таксационными и морфологическими показателями древостоев**

В число измеряемых объективными методами на аэроснимках показателей входят *средняя высота древостоев, средний диаметр кроны деревьев, сомкнутость полога, количество проекций крон на 1 га или расстояние между ними*. Однако все эти показатели, за исключением высоты древостоя, не относятся к общепринятым таксационным показателям, определяемым при лесоинвентаризации и, следовательно, не могут составить полную таксационную характеристику древостоев. В связи с этим при дешифрировании аэроснимков такие важнейшие таксационные показатели, как диаметр на высоте груди и запас древостоев, определяются по установленным взаимосвязям их с вышеперечисленными дешифрируемыми показателями.

Эти взаимосвязи имеют региональное значение и зависят от различных природных факторов: древесной породы, типа леса, класса бонитета. В настоящее время не представляется возможным построить такие взаимосвязи, которые бы учли все разнообразие структуры и строения насаждений. Поэтому при исследовании взаимосвязей используются близкие по своему строению и структуре участки насаждений, произрастающие в одинаковых условиях местопроизрастания, экологически и биологически однородных, в пределах которых зависимости между изучаемыми показателями характеризуются близкими параметрами. Поскольку организм и среда едины и взаимосвязаны, то одним из путей подбора таких однородных групп насаждений является установление общности лесорастительных условий, ближе всего характеризуемых типом леса. Поэтому подбор древостоев для образования однородных групп насаждений необходимо производить путем установления сходства в отношении:

– типа леса;

- класса бонитета;
- состава и преобладающей породы;
- происхождения и возрастной структуры;
- густоты или полноты древостоев.

Именно такие признаки однородности положены в основу выделения *страт* при дешифрировании мелкомасштабных аэроснимков. Поэтому объединение насаждений по материалам перечислительной таксации и соответствующим замерам таксационных и дешифровочных показателей для выявления взаимосвязей между ними производится по группам, соответствующим стратам. При объединении этих материалов дополнительно производится проверка их однородности с использованием соотношения высоты и диаметра на высоте груди.

Такое соотношение устанавливается путем нанесения кривых высот по диаметрам для разных пробных площадей и выделов с перечислительной таксацией на один график для преобладающей породы. Пробные площади и выдела перечислительной таксации, у которых кривые высот располагаются близко и параллельно друг другу, принимаются однородными и объединяются в одну группу насаждений. Кроме того, принадлежность к той или иной группе проверяется путем построения графиков, соответствующих линейным уравнениям связи.

Объединение насаждений по признакам однородности, принятым при выделении страт, позволяет получить рабочие уравнения связи непосредственно для насаждений каждого страта и в значительной степени упростить использование их в практических целях.

После подтверждения однородности выделенных групп насаждений составляются статистические совокупности древостоев элемента леса, по своему строению повторяющие закономерности строения отдельного элемента леса, и производится их математическая обработка.

Основная задача заключается в установлении с помощью множественного корреляционно-регрессионного анализа характеристик важнейших таксационных показателей насаждений, которые невозможно получить путем непосредственного дешифрирования аэроснимков. К числу таких показателей относятся: запас древостоя на 1 га; относительная полнота; средний диаметр древесной породы на высоте груди.

В качестве показателей, непосредственно определяемых на аэроснимках, служат:

высота яруса  $H$ ;  
диаметр кроны  $D_k$ ;  
длина кроны  $L_k$ ;  
сомкнутость полога  $P_s$ ;  
густота древостоя  $N$ ;  
возраст  $A$ ;  
коэффициент состава  $K$ ;  
среднее расстояние между деревьями  $l$ .

При составлении корреляционных уравнений зависимости между таксационными и дешифровочными показателями определяемые на аэроснимках показатели вводятся в уравнения в качестве аргументов.

Математико-статистическая обработка наблюдений выполняется в такой последовательности:

- 1) расчет характеристик одномерных распределений;
- 2) построение матрицы коэффициентов парной корреляции;
- 3) выбор формы связи и вида уравнения регрессии;
- 4) статистическая оценка уравнений регрессии; отсев несущественно влияющих факторов.

Установлено, что в группах насаждений, имеющих среднюю однородность, коэффициенты изменчивости суммы площадей сечения, относительной полноты и запаса соответственно равны 25, 25 и 28%, т. е. находятся в пределах градации 21–30%.

Рассматривая корреляцию аргументов с функцией и между собой, можно отметить, что со значениями запаса коррелируют высота и сомкнутость полога, а со значениями относительной полноты – значения сомкнутости и густоты древостоев. Очень тесная связь большинства аргументов, за исключением коэффициента состава и сомкнутости полога, наблюдается со средним диаметром преобладающей породы. Таким образом, при помощи статистического метода определяются основные таксационные показатели.

Корреляционные связи между таксационными и дешифровочными показателями древостоев очень тесные и обычно выражаются уравнениями 1–2 порядка с довольно высокими коэффициентами корреляции, достигающими 0,9 и более. Наряду с парными имеются и множественные виды связей.

Корреляционные уравнения и графики зависимости составляются на основе экспериментальных данных. Главным при этом является соблюдение однородности условий при проведении наблюдений. В силу того, что невозможно проконтролировать ничтожные изменения большого числа разнообразных факторов, нельзя полностью соблюсти эти условия.

При исследованиях в лесных массивах наблюдения необходимо проводить хотя бы по лесотаксационным выделам, т. е. в одном насаждении, однородном по форме, составу и условиям местопроизрастания. Наиболее соответствует этим условиям такая таксономическая единица, как тип леса.

После определения однородности условий сбора материалов следует решить не менее важный вопрос о количестве необходимых наблюдений. Количество необходимых наблюдений для составления надежных корреляционных уравнений можно вычислить по формуле:

$$n = \left( \frac{1 - \eta^2}{\rho \cdot \eta} \right)^2,$$

где  $n$  – число наблюдений;  $\eta$  – коэффициент корреляции или корреляционное отношение;  $\rho$  – показатель точности установления критериев уравнения.

Коэффициент корреляции служит мерой связи в корреляционных уравнениях первого порядка, а в уравнениях второго и выше порядков мерой связи служит *корреляционное отношение*. Формула аналогична как для коэффициента корреляции, так и для корреляционного отношения.

Исследования показывают, что связь диаметров крон с диаметрами стволов является довольно прочной и характеризуется значениями коэффициента корреляции или корреляционного отношения, в 0,7–0,9.

Диаметр крон деревьев может быть замерен в натуре и по аэроснимкам. Для инструментального проектирования краев крон на поверхность земли сконструированы специальные приборы, например, крономер С. В. Белова (1961). При помощи этого прибора диаметр кроны может быть замерен с точностью 5–6 см при высоте проектирования 20 м. Измерение диаметров крон с помощью

крономера осуществляется с высокой точностью, однако занимает очень много времени.

Измерения диаметров крон для составления корреляционных уравнений можно производить и на аэроснимках, но при этом диаметры стволов этих деревьев необходимо измерять только в натуре. Работа при этом заключается в следующем: крупномасштабным аэроснимкам масштаба 1/3000 и крупнее измеряемые деревья опознаются в натуре, а на аэроснимке их проекция кроны прокалывается иглой и отмечается на обратной стороне аэроснимка номерами.

В натуре у этих деревьев измеряются все необходимые параметры. Измерения  $D_k$  по аэроснимкам более объективны, но более трудоемки и требуют наличия крупномасштабных аэроснимков хорошего качества. Измерения  $D_k$  и  $d$  в натуре без опознавания деревьев производятся с меньшей затратой времени.

В иностранной литературе (Spurr, 1948) высказывается рекомендация оперировать при дешифрировании лесов только с видимыми на аэроснимках деревьями. С этой точки зрения для составления уравнений следует использовать измерение только видимых на аэроснимках диаметров крон.

Наиболее рациональным порядком работ при определении  $D_k$  по аэроснимкам является следующий:

- 1) глазомерное дешифрирование состава, типа леса, класса бонитета, полноты и возраста насаждения данного выдела леса;
- 2) измерение диаметров крон по породам, составляющим насаждения и вычисление среднего значения;
- 3) подбор по данным дешифрирования соответствующего уравнения;
- 4) нахождение по среднему  $D_k$  искомого среднего диаметра древостоя, в отдельных случаях прибегая к интерполяции.

Для таксационного дешифрирования наибольшее значение имеют связи средних диаметра кроны ( $D_k$ ), высоты ( $H$ ), сомкнутости полога ( $S$ ), полноты ( $\Pi$ ), запаса ( $M$ ) со средним диаметром на 1,3м ( $D_{1.3}$ ) и другими показателями:

$$1. D_{1.3} \text{ с } D_k: \quad D_{1.3} = b_0 + b_1 D_k$$

$$2. D_{1.3} \text{ с } H: \quad D_{1.3} = b_0 + b_1 H + b_2 H^2$$

$$3. D_{1.3} \text{ с } D_K \text{ и } H: \quad D_{1.3} = b_0 + b_1 H + b_2 D_K$$

$$4. П \text{ с } S: \quad П = b_0 + b_1 S$$

$$5. M \text{ с } H \text{ и } S: \quad M = b_0 + b_1 S H^2$$

$$6. M \text{ с } D_K, H \text{ и } S: \quad M = b_0 + b_1 D_K + b_2 S H$$

Для установления характера связей требуется большой экспериментальный материал. Наряду с этим в настоящее время очень низка производительность лесного дешифрирования. Все это препятствует внедрению в практику лесоустройства измерительного дешифрирования АФС.

Но непосредственное измерение средних диаметров стволов в насаждениях по плановым аэроснимкам в большинстве случаев невозможно, поэтому пользование корреляционных взаимосвязей при дешифрировании лесных аэроснимков является пока единственным методом установления средних диаметров деревьев в насаждениях. Характер корреляционных взаимосвязей определяется географическим положением района работ и видовым составом насаждений.

В пределах ландшафтных районов взаимосвязи определяются, главным образом, типами леса и в некоторой степени зависят от полноты и возраста насаждений.

## **7. ДЕШИФРИРОВАНИЕ АЭРОФОТОСНИМКОВ**

### **7.1. Сущность и виды дешифрирования аэроснимков**

*Дешифрированием* называется опознание объектов по их фотоизображениям и определение их качественных и количественных показателей. Лесное дешифрирование подразделяется на *контурное* и *таксационное*.

*Контурное* дешифрирование заключается в установлении границ лесного фонда, таксационных выделов и топографических объектов.

*Таксационное* дешифрирование заключается в определении таксационных показателей древостоев и описании других категорий земель по их фотоизображениям.

Дешифрирование подразделяется на *глазомерное* (аналитическое), *измерительное* (инструментальное) и *автоматическое* (машинное) [97].

Современная технология лесотаксационного дешифрирования аэрофотоснимков имеет целый ряд недостатков в силу того, что она базируется преимущественно на субъективных глазомерных оценках стереомодели, в связи с чем точность определения таксационных показателей недостаточна. К тому же применяемые методы определения таксационных показателей камеральным путем трудоемки и утомительны. Поэтому с начала 70-х гг. ведется разработка автоматизированных методов считывания со снимков информации о лесах.

Первая попытка автоматизированного лесотаксационного дешифрирования у нас в стране была сделана С. В. Беловым, но в силу отсутствия высокоточных и надежных технических средств эти попытки не дали желаемого результата, хотя подтвердили мнение о возможности решения данной задачи.

За рубежом в настоящее время проводятся исследования в этом направлении, поскольку промышленностью США и некоторых других стран разработаны и освоены в серийном производстве технические средства, позволяющие проводить считывание информации со съемочных материалов с высокой точностью и стабильностью. Одним из наиболее используемых таких технических средств является система Р-1700 «Фотомейшен», выпускаемая фирмой Оптроникс (США).

Система представляет собой сканер, сопряженный с компьютером и позволяющий обрабатывать как черно-белые, так и спектрзональные снимки. Возможности автоматического определения ряда таксационных показателей насаждений непосредственно по аэрофотоснимкам основаны на наличии статистической связи между таксационными показателями насаждений и статистическими характеристиками изображения полога (СХИП) этих насаждений на аэрофотоснимках и использовании технических средств, позволяющих автоматически считывать информацию с аэрофотоснимков [20].

Рассматривая оптическую плотность изображения полога леса на аэрофотоснимке, можно получить для нее целый ряд выборочных данных. Это могут быть статистические ряды оптической плотности. Эти характеристики объективно отражают облик верхнего полога леса

и количественно связаны с его дешифровочными показателями, а через них и с таксационными показателями насаждений. Оценивая эти характеристики как отдельные факторы, можно методами многофакторного регрессионного анализа определить регрессионные уравнения для каждого таксационного показателя.

Сложность указанного пути состоит в том, что факторы должны определяться по выборке, содержащей сотни и тысячи элементов. Этого нельзя сделать с помощью визуального измерительного дешифрирования. Современные сканеры, сопряженные с компьютерами, позволяют за несколько минут произвести измерение оптической плотности в тысячах точек фотоснимка, получить необходимое количество факторов, а затем решить регрессионные уравнения.

Определение связи полученных СХИП с таксационными показателями проводится на основе регрессионного анализа.

Следует отметить, что СХИП более тесно связаны с сомкнутостью полога, числом видимых деревьев и их размерами, однако поиски этих связей не представляют практического интереса, а их определение для того, чтобы через них установить корреляции СХИП с запасом, высотой, полнотой и диаметром, нецелесообразно, так как всегда более тесную связь можно получить через непосредственную корреляцию таксационных показателей с СХИП. Это происходит вследствие того, что при непосредственной корреляции минимизируется ошибка самих таксационных показателей, а при опосредованной – сначала ошибка промежуточных показателей, а уже потом окончательных.

Расчет запаса по данным СХИП по уравнению в сопоставлении с запасом, определенным по натурным данным, дает отклонение  $\pm 17,1\%$ , а в сопоставлении с запасом, определенным по стандартной таблице  $\pm 15\%$ , что объясняется исключением в последнем случае вариации полнодревесности насаждений. С этой же точностью определяется сумма площадей сечений.

Следует учитывать, что в данные ошибки входит вариация точности наземных данных ( $\pm 8\%$ ) и вариация репрезентативности сканирования, так как сканируется лишь 60–70% площади выдела. Это позволяет оценить фактическую точность полученных уравнений на 3–4% выше. Точность вычисления диаметра получается равной  $\pm 11,8\%$ . Уравнения аналогичного типа получены и для определения



сомкнутости полога (ошибка  $\pm 10\%$ ), и для определения возраста (ошибка  $\pm 12$  лет).

Таким образом, определенные машинным путем по аэрофотоснимкам основные таксационные показатели (запас, сомкнутость полога, диаметр на высоте груди) по точности вполне удовлетворяют практику, ибо при наземной глазомерной таксации ошибки достигают более значительных величин, субъективны и имеют к тому же систематические ошибки, колеблющиеся в довольно больших пределах.

Если говорить о глазомерном и измерительном дешифрировании, то объекты на АФС изображаются в непривычном для человека виде сверху и сильно уменьшенных размерах. Поэтому опознать их часто довольно затруднительно, а иногда невозможно.

Достоверность опознания объектов значительно увеличивается после предварительного изучения подобных в натуре и на АФС, с учетом влияния всех факторов, определяющих характер их изображения. Поэтому процесс дешифрирования должен состоять из следующих этапов:

- изучение объектов в натуре;
- установление их дешифровочных признаков;
- дешифровочная тренировка;
- дешифрирование границ выделов и таксационных показателей.

## **7.2. Дешифровочные признаки**

Для точного опознания объектов необходимо знать: форму, размеры, цвет (тон), геометрические и физические свойства, взаимосвязи с другими объектами и средой. Многие из них не находят изображения на АФС. Поэтому дешифровочные признаки делят на *прямые и косвенные*.

К прямым дешифровочным признакам относятся:

- цвет (тон);
- форма;
- размеры по длине и высоте;
- тени (собственные и падающие);
- рисунок изображения и т.д.

*Форма* объектов имеет важное значение для их опознавания. По форме крон опознаются породы, вырубки и кварталы по правильной прямоугольной форме.

*Размер* объектов используется для опознавания объектов и оценки их состояния. Размер крон и промежутков используется для определения возраста, полноты, класса бонитета и др.

*Цвет и тон* – для определения категорий земель, состава, возраста, бонитета, состояния и др.

*Тени собственные* дают хорошее представление о форме объектов. постепенный переход от освещенной к затененной части крон – показатель выпуклости, резкий – заостренности и т. д.

*Падающие тени* хорошо передают форму крон, когда их длина равна высоте объектов.

*Косвенные (ландшафтные) признаки* – приуроченность условий местопроизрастания, классов бонитета, преобладающих и составляющих пород к элементам рельефа, высоте над уровнем моря, крутизне и экспозиции склонов, гидрологии, взаимосвязи таксационных показателей деревьев и древостоев и т. д.

Дешифрирование не лесных и не покрытых лесом площадей проводится в соответствии с учебным пособием по АФС.

### **7.3. Дешифрирование древостоев основных пород**

Еловое насаждение. Ель значительно отличается от остальных пород преобладанием конусовидных форм крон с острой или закругленной вершиной. Кроны отличаются значительной густотой, их длина (50 – 85%) в 1,5 – 2,0 раза больше, чем у сосны, березы и осины. С возрастом и ухудшением условий местопроизрастания густота крон уменьшается, вершины их затупляются и становятся все более круглыми.

Вследствие ветровальности и теневыносливости ели в насаждениях старших возрастов наблюдается значительная разновысотность, изменчивость размеров и неравномерное распределение деревьев по площади, обуславливает неровномерную сомкнутость и наличие различных по величине и форме разрывов в пологе.

Морфологические особенности еловых насаждений определяют характер их изображения на аэроснимках [17].

Изображение на аэроснимках (масштаб 1:10 000 – 1:15 000) состоит из светло-серых, округлых или неправильно-округлых проекций крон и темных, почти черных, промежутков между ними. В центральной части аэроснимков заметно наличие освещенных и затененных частей крон. Затененные части (собственные тени), имеющие вид треугольника с вершиной в центре проекции кроны, сливаются с промежутками такого же тона между кронами. Переход от освещенной к затененной частям крон резкий, поэтому выпуклость крон слабо заметна.

На аэроснимках изображаются только верхние освещенные части крон. Поэтому даже в спелых высокополнотных еловых насаждениях проекции крон имеют небольшие размеры, а полог – незначительную сомкнутость.

Плотные тени крупных деревьев закрывают кроны части меньших и средних, и они не изображаются на аэроснимках. В результате этого увеличивается неравномерность распределения деревьев по площади и уменьшается сомкнутость полога.

При рассматривании в стереоскоп хорошо заметны различия в высотах деревьев и размерах крон, зубчатость полога. Наличие глубоких провалов, чередующихся с участками с густым расположением деревьев. Примесь сосны выделяется по высокой приподнятости крон, их выпуклой форме и более светлому тону. Лиственные породы выделяются более светлым тоном и обычно куртинным расположением.

Морфологические особенности спелых еловых насаждений обуславливают на черно-белых аэроснимках темно-серый или темный ячеистый тон, на спектрзональных – темный сине-зеленый цвет изображения.

Сосновое насаждение. В спелых насаждениях средней густоты кроны деревьев высоко подняты над землей. Форма крон выпуклая, параболоидная или яйцевидная, в плане округлая. Деревья равномерно распределяются по площади, размеры их изменяются незначительно, диаметры крон изменяются в пределах 1:3.

На черно-белых аэроснимках изображение спелых сосновых насаждений состоит из светло-серых примерно одинаковых по размерам округлых проекций крон, равномерно распределенных по площади, и темновато-серых промежутков между ними, примерно одинаковой формы и размеров. Вследствие выпуклости наблюдается постепенный переход от освещенной к затененной частям крон,

собственные тени просматриваются в виде полумесяца в периферийной части кроны с плавным переходом к освещенной части.

Тон крон на панхроматических аэроснимках светло-серый, теней – темновато-серый, на инфрахроматических – серый, промежутков и теней – темный, почти черный. На спектрзональных аэроснимках освещенные части крон светло-зеленые, затененные – сине-зеленые, промежутки между кронами темно-синего цвета.

При стереоскопическом рассматривании кроны кажутся приподнятыми над земной поверхностью. Диаметры крон и высота деревьев изменяются незначительно. Общий вид полога равномерный, гладкий, без глубоких провалов.

Березовое насаждение. В спелых березовых насаждениях форма крон деревьев параболоидная, яйцевидная или полушаровидная. Кроны деревьев средней густоты, увеличивающейся с улучшением условий местопроизрастания и снижением полноты.

Расположение крон в пологе и по площади равномерное. Размеры крон изменяются незначительно в пределах 1:2. Промежутки между кронами небольших размеров. Разновысотность деревьев незначительная. Полог березовых насаждений ровный, с однородной высокой сомкнутостью.

На черно-белых аэроснимках изображение березовых насаждений состоит из однообразных по форме и размерам округлых или неправильно-округлых светло-серых проекций крон и мелких одинаковых по размерам темновато-серых промежутков.

Переход от освещенной части крон к затененной постепенный нерезкий. Затененная часть серого или темновато-серого тона занимает не более 1/3 ширины кроны. Общий вид изображения – равномерный гладкий, на черно-белых аэроснимках – светло-серого тона, на спектрзональных – желто-оранжевого или светло-оранжевого цвета.

Осиновое насаждение. В спелых осиновых насаждениях форма крон деревьев округлая или неправильно-округлая с плоской вершиной. Листья постоянно колеблются и сильно отражают солнечный свет. Поэтому кроны хорошо «сияют» под солнцем и не имеют выраженной собственной тени.

Средней густоты кроны деревьев занимают не более 1/4–1/3 высоты дерева. Диаметры крон больше, чем у остальных пород, но размеры их изменяются незначительно в пределах 1:2.

По площади деревья распределяются равномерно, при порослевом возобновлении – куртинно. Разновысотность деревьев незначительная. Полнота и сомкнутость полога насаждений во всех возрастах высокая.

На черно-белых аэроснимках изображение осиновых насаждений состоит из одинаковых по размерам округлых или неправильно округлых с неровными или волнистыми краями проекций крон яркого светло-серого тона и небольших промежутков между кронами.

Различия между освещенными и затененными частями крон незаметны. Общий вид полога равномерный, гладкий с высокой сомкнутостью и незначительной просматриваемостью в глубину.

Тон изображения на панхроматических аэроснимках – светло-серый, на инфрахроматических – ярко-светлый, почти белый, на спектрально-зональных – оранжевого или красновато-оранжевого цвета.

Черноольховое насаждение. В спелых черноольховых насаждениях форма крон деревьев обратояйцевидная или эллипсовидная, в порослевых группах с плоской вершиной. Средней густоты крона занимает примерно 1/3 высоты. Различия в размерах крон (1:2) и высотах деревьев незначительны, но сомкнутость полога высокая. Характерной особенностью черноольховых насаждений является их приуроченность к сырым и мокрым участкам долин и поймам рек.

На черно-белых аэроснимках изображение черноольховых насаждений состоит из неправильно-округлых или угловатых проекций крои светло-серого или серого тона и небольших темновато-серого тона промежутков между кронами.

Изменчивость размеров проекций крои не превышает 1:2. Различия освещенных и затененных частей крон слабо заметны. Проекция не имеют четких очертаний и тесно соприкасаются одна с другой. В порослевых группах кроны располагаются одна вблизи другой по кругу. Поэтому обособленность крон выражена плохо.

Общий вид полога плоский, однородный, с незначительной просматриваемостью в глубину. На черно-белых аэроснимках тон изображения светло-серый, на спектрально-зональных – оранжевого, красновато-оранжевого или оранжево-коричневого цвета.

Дубовое насаждение. В спелых дубовых насаждениях преобладают неправильно-округлые узорчатые с рассеченными краями и сложные кроны, состоящие из нескольких небольших крон

вокруг наиболее крупных ветвей. Форма и размеры крон деревьев изменяются в широких пределах в зависимости от возраста и условий местопроизрастания.

В чистых древостоях различия в формах и размерах крон незначительны. Вершины крон слабо закруглены или плоские. Разновысотность деревьев слабо выражена. В смешанных древостоях дуб имеет максимальные размеры кроны. При куртинном расположении хорошо заметны различия в высотах пород.

Проекции крон на аэроснимках имеют неправильно-округлую или узорчатую форму. Между кронами выделяются неправильной формы промежутки. В смешанных насаждениях заметны различия в формах крон и промежутках между ними. Тон изображения крон изменяется от светло- до темновато-серого, промежутки между кронами темно-серого тона. На спектрзональных аэроснимках дубовые насаждения имеют оранжево-бурый или коричневато-бурый цвет.

#### **7.4. Дешифрирование таксационных показателей древостоев**

При дешифрировании *состава* вначале по общему виду, тону, цвету и рисунку изображения определяется преобладающая порода. По различию в формах и размерах крон, тоне и цвете, строению полога в центральной и краевых частях АФС определяется наличие других пород. Доля их участия в составе определяется глазомерно пропорционально площадям, занятым проекциями крон.

*Возраст* обуславливается внешним видом крон и строением полога. С возрастом уменьшается число деревьев, увеличиваются размеры крон, и они все более закругляются и обособливаются. Но наиболее тесная связь наблюдается между возрастом и размерами крон.

В молодняках кроны деревьев не различаются, но поверхность полога приподнята над землей. В конце 1-го класса возраста появляется мелкая зернистость, второго – мелкие промежутки между кронами.

Средневозрастные древостои имеют следующие характеристики: третий класс возраста – мелкие конусовидные кроны изображаются в виде густой сети мелких точек, четвертый класс возраста – проекции крон и промежутки небольших размеров, но хорошо заметны. Вершины крон начинают закругляться и становятся

заметной освещенная и затемненная части кроны. В пологе лиственных пород начинают появляться разрывы.

В спелых древостоях пятого класса возраста очертания проекций крон, выпуклость и различия освещенных и затемненных частей хорошо заметны.

В перестойных древостоях кроны изреживаются и становятся более «прозрачными». Поэтому очертания крон, их выпуклость, различия между освещенными и затемненными частями, тени становятся менее заметны.

*Полнота* определяется по степени сомкнутости крон и просматриваемости полога в глубину. В спелых насаждениях основных пород полнота на 0,1–0,2 выше сомкнутости, в осиновых и более молодых древостоях остальных пород сомкнутость больше полноты на 0,1–0,3.

Возможность дешифрирования *класса бонитета и типа леса* обусловлена тем, что с изменением продуктивности изменяется внешний вид полога и его изображение на АФС.

Древостои высших классов бонитета имеют более богатый состав, густоту и темную окраску крон, большую изменчивость высот деревьев и размеров крон. Все это обуславливает большую пестроту изображения.

С понижением класса бонитета появляется все больше однообразия в высоте, формах и размерах крон, их тоне и цвете, а общий рисунок изображения становится все более однообразным, плоским. Древостои 5–5а класса бонитета имеют наибольшую высоту, мелкие кроны, большие промежутки и их полог просматривается обычно до земли.

При дешифрировании класса бонитета и типа леса особое внимание нужно уделять использованию косвенных (ландшафтных) признаков. Точность дешифрирования необходимо проверять на бонитировочной шкале М. М. Орлова. При наличии расхождений все показатели дешифрируются заново.

## 8. ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ

### 8.1. Подготовка аэрофотоснимков к измерительному дешифрированию

При подготовке на АФС отграничиваются рабочие площади, опознаются главные точки, проводятся начальные направления ( в левом верхнем углу), измеряется величина базисов и параллактического коэффициента, определяется высота фотографирования.

Высота фотосъемки определяется по показаниям радиовысотомеров или по данным измерений на фотоснимках и местности или топокартах.

По данным измерений на местности и АФС высота фотографирования определяется:

$$\frac{1}{m} = \frac{l_C}{L_H} = \frac{f}{H},$$

отсюда

$$H = \frac{f \cdot L_H}{l_C},$$

где  $f$  – фокусное расстояние, мм;  $m$  – масштаб снимка;  $L_H$  – длина линии на местности, м;  $l_C$  – длина линии на снимке, м.

При использовании топокарт:

$$\frac{1}{m} = \frac{l_C}{l_K m_K} = \frac{f}{H},$$

отсюда

$$H = \frac{f \cdot l_K \cdot m_K}{l_C},$$

где  $l_K$  – длина линии на карте, мм;  $l_C$  – длина линии на снимке, мм;  $m_K$  – масштаб карты.

В горной местности в показаниях радиовысотомера вводятся поправки за наклон линий  $\Delta D$ , величина которых определяется с помощью стереоскопической сферы, двух параллактических сеток (левая – концентрическая, правая – эксцентрическая окружности тех же радиусов, но смещенных на  $\Delta P$ ) – различие между главной точкой левого АФС и точки, ближайшей к самолету).



$$\Delta D = \frac{D}{b} \Delta P.$$

где  $D$  – длина наклонной линии, м;  $b$  – базисное расстояние снимков, мм;  $\Delta P$  – разность параллаксов, мм.

## 8.2. Приборы и программные средства для измерительного дешифрирования аэрофотоснимков

Приборы для измерительного дешифрирования АФС делятся на:

а) *увеличительные* – лупы, стекла 2–4-кратного увеличения (используются при глазомерном дешифрировании для увеличений размеров рассматриваемых объектов);

б) *измерительные* – циркуль, линейка (измерение расстояний на фотоснимке), лупа с нанесенными делениями, измерительный клин, шкала кружков (служат для измерения диаметров крон деревьев), площадные палетки (для определения единиц состава древостоев), шкалы тонов (7) и цветов (105) (для определения породного состава), шкала отрезков, точечные палетки (используются для определения сомкнутости полога и полноты древостоев) и др.;

в) *стереоскопические* – стереоскопы и стереоочки применяются для получения стереоэффекта при измерении высот древостоев, определении ярусности и т.д.;

г) *стереофотограмметрические (стереоизмерительные)* – стереоскоп с параллаксометром, стереометры, интерпретоскоп и др. (для определения высоты древостоев, отдельных деревьев и других объектов. Измерительной частью этих приборов является пара марок в виде точек, крестиков или нитей и параллактические винты.

## 8.3. Измерение высот деревьев, диаметров крон и определение других таксационных показателей древостоев

При проведении дешифрирования АФС высота деревьев и древостоев определяется по разности продольных параллаксов. При проведении измерений марки стереоприборов совмещают с вершиной дерева. При стереоскопическом рассмотрении они сливаются в одну пространственную, касающуюся вершины дерева. Если она приподнята над кроной или погружена в нее, то одну (правую) марку микровинтом перемещают вправо или влево. Перемещение одной марки приводит к перемещению пространственной по высоте. После

совмещения пространственной марки с вершиной дерева по микровинту (шкале) проводят первый отсчет продольного параллакса вершины дерева. Перемещая правую марку вправо, опускают пространственную до тех пор, пока она не коснется поверхности земли. При заглублении в землю она начинает двоиться. После совмещения с поверхностью земли проводят второй отсчет. Вычтя из первого показания второе, получают разность продольных параллаксов. Измерения повторяют несколько раз. Различия разности продольных параллаксов не должны превышать 0,05 мм, а затем вычисляют их среднюю величину. Высоты деревьев и древостоев вычисляются по формуле

$$h = \frac{H}{b} \cdot \Delta P,$$

где  $H$  – высота съемки, м;  $b$  – базис фотографирования снимков, мм;  $\Delta P$  – разность параллаксов, мм.

С наибольшей точностью измеряется средняя высота полога, близко совпадающая со средней высотой древостоя. Для проведения измерений используют нитяные марки на вращающихся держателях. Они пересекают выдел на значительном протяжении и вдоль их можно всегда обнаружить окна или просветы в пологе для совмещения пространственной марки с поверхностью земли. Ошибки измерений высот в равнинной местности не выходят за пределы  $\pm 7 - 8\%$ , в горах  $\pm 9\%$ .

*Измерение диаметров крон* может проводиться измерительными лупами, измерительным клином, шкалой кружков, стереоизмерительными приборами. Под стереоскопом лучше заметны очертания проекций крон. При проведении измерений пространственная марка совмещается с одним, а затем другим краем кроны. Для проведения измерений методом случайной выборки подбирается обычно не менее 10 крон, а затем вычисляют среднюю величину. Умножив ее на знаменатель масштаба снимка, получают средний диаметр крон в натуре. Ошибки определения среднего диаметра крон не выходят за пределы 10–15%.

*Определение сомкнутости* полога проводится точечными палетками. Они накладываются на выдел и проводится подсчет точек, наложившихся на кроны. Сдвигая палетку, подсчеты повторяют несколько раз. Сомкнутость полога вычисляют путем деления точек

наложившихся на их общее число. Ошибки не выходят за пределы 10–15%.

*Состав древостоя* определяется по соотношению в % числа деревьев различных пород, видимых в пологе. Для проведения подсчетов используют палетки с круглыми или прямоугольными площадками. На площадке должно помещаться 30–50 крон деревьев. Подсчеты повторяют несколько раз. Для удобства подсчетов используют специальный счетчик «щуп». Состав получают путем деления количества деревьев одной породы, попавшей в пределы круга и квадрата палетки, на общее количество деревьев в данной площадке.

*Запасы* древостоев при проведении измерений определяют по стандартным таблицам хода роста древостоев, графикам или корреляционным уравнениям связи диаметров крон с запасом.

#### **8.4. Достоверность дешифрирования аэрофотоснимков**

По сверхкрупномасштабным АФС преобладающие породы, категории земель (гари, сенокосы, редины, ветровалы, болота), типы леса, возраст и полнота древостоев дешифрируются с достоверностью 95–100%, по средне- и мелкомасштабным – с достоверностью 70 – 90%. Точность дешифрирования зависит от методики, технических средств, опыта и квалификации дешифровщика. По спектрзональным АФС дешифрирование проводится примерно в 2 раза точнее.

Опыт показывает, что точность дешифрирования сверхкрупномасштабных АФС равна точности определения таксационных показателей при перечислительной таксации. Снимки масштаба мельче 1/10 000 мало пригодны для проведения стереоизмерений. Точность дешифрирования крупномасштабных снимков проводится на уровне глазомерной таксации.

Применение сложных приборов не ведет к особому повышению точности. Измерение высот лучше всего проводить при высоте аэрофотосъемки 1–2 км.

Увеличение или уменьшение высот ведет к ухудшению стереоскопического восприятия и уменьшению точности измерений (сдвиг изображений, мелкий масштаб).

### **8.5. Автоматизированное дешифрирование аэроснимков**

В настоящее время наиболее полную и достоверную информацию можно получить при использовании человеко-машинной системы дешифрирования, сочетающей возможности дешифровщика, оптико-электронной техники и ЭВМ. При этом дешифровщик должен управлять и контролировать ход машинного дешифрирования.

В совместных технических средствах считывание и запись информации проводится тонким световым лучом в виде квадратиков с размером сторон от 12,5 до 200 мкм. Негатив (позитив) закрепляется на барабане, и при его вращении построочно сканируется и оцифровывается плотность изображения. Человеческий глаз различает 7–10, машина 256 градаций яркости изображения. В качестве изображения используется микроструктура (пестрота) изображения полога древостоев. Данные о ней поступают в память компьютера. По этим данным машина вычисляет статистические показатели изображения полога древостоев.

Предварительно в память вводятся таксационные показатели и статистики изображения пологов древостоев устраиваемого объекта. Машина сравнивает статистики полога древостоев с имеющимися в памяти и автоматически определяет таксационные показатели древостоев.

Точность близка к точности аналитико-измерительного дешифрирования. Границы выделов дешифрируются обычным способом в одной или нескольких зонах спектра с учетом статистики изображений сложных древостоев. Состав древостоев также определяется по тону и цвету, а остальные показатели – по специальным программам на основе их взаимосвязей со статистиками изображения пологов.

В настоящее время в условиях быстрого развития дистанционных методов исследования природных ресурсов Земли весьма актуальной стала проблема автоматизации процесса дешифрирования аэрофотоснимков. Анализ различных сторон процесса дешифрирования показывает, что ввиду его сложности и несовершенства имеющихся технических средств ставить вопрос о полной автоматизации дешифрирования пока еще преждевременно.

В связи с этим реальной целью разработок по автоматизации лесотаксационного дешифрирования аэрофотоснимков может быть создание человеко-машинной диалоговой системы

автоматизированного дешифрирования, разумно сочетающей в себе возможности компьютера и оператора-дешифровщика. Последний должен осуществлять свои функции с помощью специально оборудованного автоматизированного рабочего места (АРМ).

Для отработки способов человеко-машинного дешифрирования аэрофотоснимков и решения комплекса вопросов по автоматизации обработки фотоинформации создана система взаимосвязанных машинных программ тематического лесотаксационного дешифрирования. В качестве программно-управляемых технических средств обработки снимков используется оптико-электронный комплекс Р-1700, включающий в себя компьютер и специализированные устройства ввода - вывода фотоинформации (сканер и плоттер).

В России разработана система РЕГИОН с комплексом технических средств, автоматизированного лесотаксационного дешифрирования аэроснимков, позволяющая в ходе экспериментов осуществлять оценку алгоритмов дешифрирования и обработки фотоинформации, накапливать опыт проведения такого дешифрирования и учитывать его в последующих разработках.

По своей структуре РЕГИОН представляет собой 4-уровневую иерархическую систему. В верхнем уровне находится управляющая программа системы и банк данных, далее следуют уровни функциональных блоков, служебных и рабочих процедур. Предусмотренные в программах диалоговые блоки дают возможность оператору управлять ходом дешифрирования.

Формирование признаков – один из наиболее ответственных этапов процесса машинного дешифрирования. Подготовка исходного набора и отбор информативных признаков являются сложным многостадийным процессом, во время которого исключают или уменьшают влияние мешающих факторов.

Объективный характер процесса машинного дешифрирования позволяет использовать систему РЕГИОН для проведения сравнительной оценки влияния отдельных факторов на результаты машинного дешифрирования. В настоящее время система РЕГИОН используется для массовых статистических исследований при дешифрировании фотоснимков леса.

Комплекс EnsoMOSAIC фирмы разработчика StoraEnso позволяет обрабатывать и дешифрировать полученные при сканировании цифровые снимки. Возможно построение объемных

изображений местности, а также автоматическое создание тематических карт земной поверхности (рис.13, 14).

PHOTOMOD – текущая версия 3.7 – система для многофункциональной прецизионной фотограмметрической обработки стереопарных изображений. Работает на персональных компьютерах в операционных средах Windows NT и Windows 95.

Пакет программных модулей для проведения основных фотограмметрических работ позволяет провести ориентирование стереопары, автоматизированное построение цифровой модели рельефа в виде

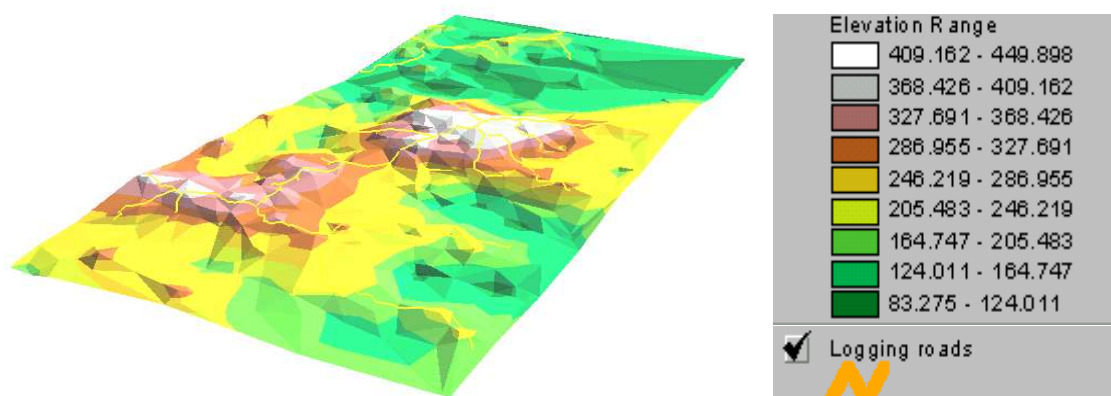


Рис. 13.Построение объемных изображений земной поверхности



Рис. 14 Автоматическое дешифрирование сканерных снимков

триангуляционной сети или «гладкой» модели. Система отличается автоматизацией и высокой точностью измерений.

PHOTOMOD 3.7 обладает возможностями ускоренной обработки больших объемов данных и поддержания новых типов видеокарт. Имеются возможности выбора любых типов объектов при создании копий проекта, поиска и удаления неиспользуемых изображений, удаления из проекта групп изображений маршрута, возможности ввода параметров камеры.

Программные средства позволяют отображать ошибки в системе координат, выбирать систему и начало сетки координат, производить экспортирование ортофотомозаики с геопривязкой и ортотрансформирование отдельных изображений проекта (рис.15).

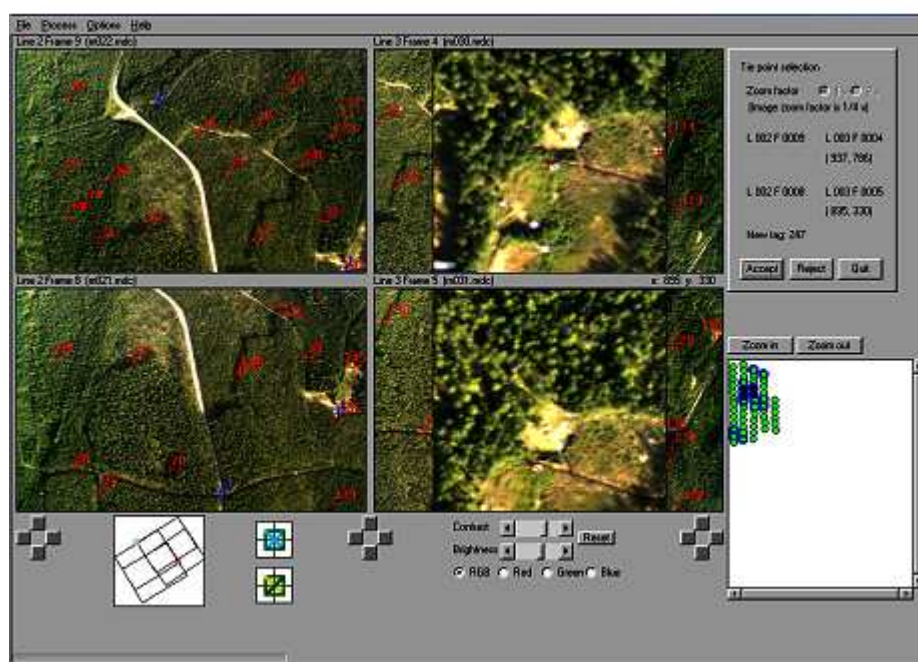


Рис. 15. Система отображения связующих точек в PHOTOMOD 3.7

Функция StereoDraw позволяет оптимизировать «непрерывный» режим рисования, автоматически переходить со стереопары на стереопару в процессе проверки топологии векторных объектов, отображать подписи объектов, координаты и таблицы кодов, корректировать передачу цвета, настраивать видимые-невидимые слои изображения, сохранять и экспортировать только необходимые видимые объекты.



## **8.6. Назначение и основные функции модуля ARCView**

Модуль компьютерной обработки АФС ARC View разработан для обработки, анализа и машинного монтирования снимков. С помощью данного модуля производится составление снимков в монтажи и подготовка их к автоматизированной обработке [19].

ArcView поддерживает следующие форматы изображений: BSQ, ERDAS GIS, LAN и IMAGIN, JPEG, BMP, TIFF, а также растровые файлы ARC/INFO.

Предварительно производится сканирование снимков или передача их в цифровой форме на экран компьютера. При работе в ARC View любое изображение или ARC/INFO-грид будут доступны.

Сканирование аэрофотоснимков осуществляется на сканере формата А3 (А4) в стандартных оболочках по работе с растровой графикой типа Photoshop, Photoplus и др. Для выполнения последующих операций все растровые изображения аэрофотоснимков должны удовлетворять определенным требованиям: формат – TIFF (Tagged Image File Format) без компрессии, тип изображения – градации серого (Gray Scale) с разрешением 300–400 dpi. разрешения изображений, в зависимости от требований к точности, можно применять и другое. Однако важно, чтобы все отсканированные снимки имели одинаковое разрешение. В противном случае полученные растровые изображения будут иметь разный размер, что сделает последующую работу с ними невозможной.

Трансформация изображений аэрофотоснимков в накидной монтаж предусматривает их совмещение согласно отображенной на них ситуации. Совмещение снимков осуществляется по трапециям международной разграфки: вначале совмещаются первые снимки маршрутов, входящие в трапецию по вертикали, а затем к ним последовательно присоединяются остальные аэрофотоснимки соответствующих маршрутов. После получения накидного монтажа по одной трапеции он создается по смежной аналогичным образом. Осуществляется трансформация при помощи координатной сетки, за пункты которой принимаются хорошо идентифицируемые на снимках объекты.

Основой для создания геометрически правильных и достоверных картографических данных является использование координатной привязки и картографических проекций в геоинформационных системах. Все накидные монтажи, составленные



по номенклатурным картографическим трапециям, трансформируются в заданную систему координат. Данная операция может быть выполнена в специализированном приложении трансформации растровой графики TransImage, работающем на базе ArcView GIS 3.2.

Для последующего монтажа изображений и составления единого фотоплана определяются три хорошо заметных на снимке точечных объекта. Для устранения искажений на краях снимков за пределами рабочей площади она предварительно вырезается с помощью прикладных программ для редактирования растровых изображений. Для создания единого смонтированного изображения используется вспомогательный модуль TransImage. После слияния образуется одно целое синтезированное изображение (рис. 16).

Изображение представляет собой тип пространственных данных, в основе которых лежат ряды и столбцы, где единица информации хранится в пикселе. До тех пор, пока пространственная информация в изображении представлена в пикселях, изображение не имеет атрибутивных таблицы.

Некоторые изображения имеют несколько зон данных, каждая представляет определенный диапазон электромагнитного спектра. Черно-белые и псевдоцветные изображения выводятся как однозональные. Цветные изображения выводятся как многозональные. У многозонального изображения есть возможность вывода в какой-либо определенной зоне.

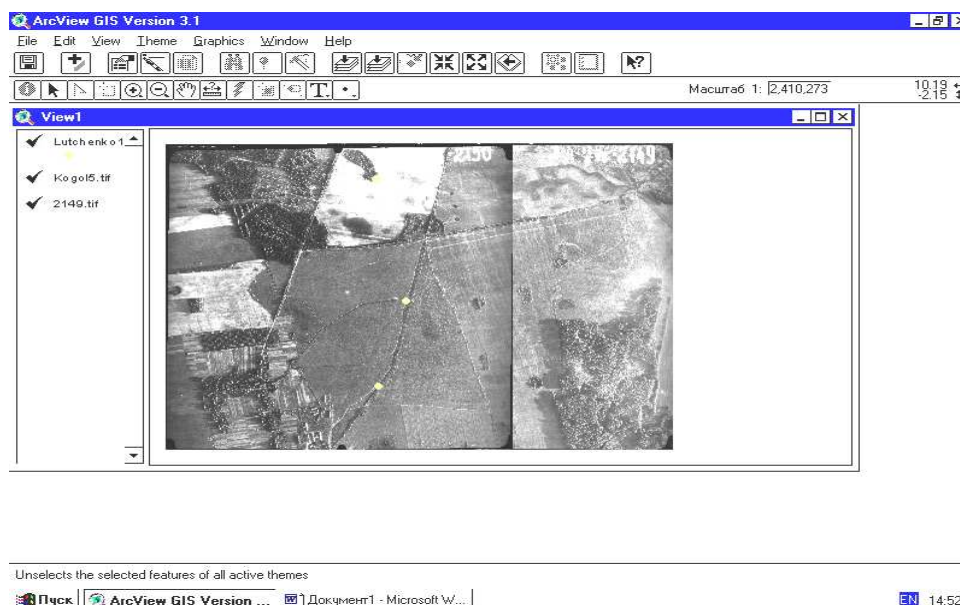


Рис. 16. Составленный фотомонтаж

После составления фотоплана (фотомонтажа) проводится контурное дешифрирование границы лесных и нелесных земель, выделяются не покрытые лесом земли, ограничиваются кварталы, выделяются линейные (дороги, тропы, ЛЭП и т.п.) и точечные (вышки, геодезические пункты) объекты на изображении, определяются контуры выделов и т.д.

Данная программа позволяет создавать различные картографические лесоустроительные материалы, выводить на печать как данные на весь объект лесоустройства (лесхоз, лесничество), так и получать распечатки картографических материалов на отдельные кварталы и группы выделов.

## **9. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРОФОТОСНИМКОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЛЕСОВ**

### **9.1. Использование аэрофотоснимков при инвентаризации лесов наземными методами**

При инвентаризации лесов невозможно проводить полевые лесоустроительные работы, не имея предварительных данных о расположении лесов, о подъездных и водных путях, о делении лесных массивов на кварталы и выдела, об основных ориентирах, путях обхода таксаторов, о предварительной оценке лесных территорий, древостоев, об окружающей обстановке и т.д.

Для этих целей и служат аэрофотоснимки. Перед тем как идти в лес таксаторы принимают подготовленные заранее материалы о лесном фонде лесхоза, в состав которых в обязательном порядке входят обработанные АФС [2].

С подготовленными фотоматериалами работники лесоустройства имеют начальную информацию о состоянии лесного фонда, размещении границ кварталов и выделах.

На снимках указываются возможные преграды (наличие рек, водохранилищ, карьеров и т.д.) и пути обхода таксатора. Отмечаются имеющиеся на местности дороги, просеки, визиры и тропы.

Отмечается наличие опознанных точек и геодезических пунктов, определяются возможные ориентиры.

Таксатор имеет предварительные результаты таксационного дешифрирования аэрофотоснимков и описание генеральных выделов.

## **9.2. Контурное дешифрирование аэрофотоснимков**

Для получения полностью обработанного и готового к полевым работам снимка он дешифрируется. Прежде всего на снимках проводится контурное дешифрирование, т.е. обозначаются границы кварталов, выделов, полей, колхозных территорий, водоразделов и т.д.

Для этих целей с помощью геодезической съемки устанавливаются точные координаты основных геодезических точек, они определяются в натуре и на АФС. На снимках визуальным способом по различию в цвете и контрастности различных частей снимка, по видимым контурам, имеющимся на местности, определяются видимые границы кварталов, выделов и других участков местности.

Затем графическими методами (линейных засечек, угловых засечек, перпендикуляров, промеров расстояний и др.) определяют соответствующие координаты полученных при дешифрировании точек снимка.

При проведении подготовки на аэрофотоснимках прямыми линиями красной тушью отграничивается рабочая площадь. Проколом в кружке фиксируется местонахождение главного пункта снимка. Местонахождение главных пунктов смежных точек определяется по идентичным пунктам местности. При отсутствии приметных объектов местонахождение главных пунктов определяется при рассмотрении под стереоскопом.

По бокам снимка тонкими линиями красной тушью выделяются начальные направления – направления на главные пункты смежных аэрофотоснимков. Линейкой измеряются величины базисов в миллиметрах и надписываются над линиями начальных направлений. Под линиями начальных направлений указывается величина параллактического коэффициента – отношение высоты фотографирования и масштаб аэрофотоснимка.

## **9.3. Подготовка аэрофотоснимка (фотоабриса) к таксации**

В камеральных условиях, до выезда на полевые работы, техник на правой стороне аэрофотоснимка проводит отмежевание рабочих площадей.

Для точного отграничения около углов рабочих площадей подбираются хорошо заметные контурные пункты или ориентиры (углы лесных участков, перекрестки дорог или просек, характерные излучины рек и дорог, отдельные деревья и другие), которые точно дешифрируются на АФС и отделяются тонкими прямыми линиями красной тушью. При отсутствии таких точек на одном аэрофотоснимке граница рабочей площади проводится посередине зоны перекрытия, на другой снимок переносится под стереоскопом [16].

В пределах рабочих площадей, используя картографические материалы предыдущего лесоустройства, опознаются окружные границы, просеки, планшетные рамки и другие кодовые линии. Для лучшей видимости они поднимаются на черно-белых снимках черной тушью, на цветных и спектрзональных – белой, короткими редкими штрихами.

Определение невидимых линий определяется приблизительно по масштабу залета и ориентирам, и на АФС они наносятся карандашами.

При проведении промера ходовых линий устанавливаются пикеты через 200 м и уточняется размещение невидимых линий путем привязок к точно обозначенным контурным пунктам или ориентирам. Все ориентиры и контурные пункты накалываются на обратной стороне АФС, обводятся кружком, около которого вычерчивается схема и показываются размеры привязок. На обратной стороне аэрофотоснимка записываются также отметки о пересечении рек, ручьев, дорог, тропинок, канав, других топографических объектов и заметных границ таксационных выделов.

Масштаб аэрофотоснимка вычисляется как среднеарифметическая величина на основе данных промеров в натуре и на АФС, не менее чем двух разнонаправленных линий длиной не менее 20 мм (для снимков 18×18 см) и не менее 40 мм (для снимков 30×30 см).

В камеральных условиях, до выезда на полевые работы, техник на правой стороне аэрофотоснимка проводит отмежевание рабочих площадей. Подготовка аэрофотоснимка производится с целью определения необходимых элементов для ориентирования АФС под стереоскопом и получения дополнительных данных для производства контурного дешифрирования

Для точного отграничения около углов рабочих площадей подбираются хорошо заметные контурные пункты или ориентиры (углы лесных участков, перекрестки дорог или просек, характерные излучины рек и дорог, отдельные деревья и другие), которые точно дешифрируются на АФС и отделяются тонкими прямыми линиями красной тушью.

При отсутствии таких точек на одном аэрофотоснимке граница рабочей площади проводится посередине зоны перекрытия, на другой снимок переносится под стереоскопом.

На равнинной местности при надежной геодезической основе планшетов, когда аэрофотоснимки используются только для таксации, допускается увеличение рабочих площадей снимков, поэтому рабочую площадь на АФС не ограничивать [17].

При дешифрировании цветных аэрофотоснимков видимые границы и просеки закрепляют белой гуашью редким удлиненным пунктиром. Непросматриваемые просеки и границы наносят на снимок сплошными линиями.

Вновь прорубленные и неопознанные линии опознают и привязывают в натуре к опорным ориентирам и контурным точкам-опознакам одновременно с промером. В качестве опознаков используют перекрестки дорог, углы контуров безлесных участков и другие точки, имеющиеся на снимке.

Все твердо опознанные точки фиксируют на аэрофотоснимке путем прокола иглой с точностью  $\pm 0,2$  мм. Проколы на оборотной стороне АФС обводят (простым карандашом) кружками диаметром 4 мм и обозначают литером, а рядом или на свободном поле – название пункта и показывают привязку к нему.

Подготовленный для таксации аэрофотоснимок должен содержать следующие обозначения:

- 1) на лицевой стороне:
  - номер квартала (проставляется в центре квартала белой гуашью);
  - просматриваемые квартальные просеки и границы (удлиненным пунктиром белой гуашью);
  - непросматриваемые квартальные просеки и границы (сплошными линиями белой гуашью);
  - проколы твердо опознанных ориентиров – в кружках диаметром 4 мм (красной тушью);
  - дороги – соответствующим условным знаком (коричневой тушью);

– реки, ручьи, озера – синей тушью, названия их и направление рек, ручьев – стрелками;

2) на оборотной стороне (в карандаше):

- название лесхоза, лесничества и номер квартала;
- квартальные просеки, границы;
- сотенные пикеты на промеренных ходовых линиях – черточками;
- километровые пикеты – косыми крестиками;
- меры линий в горизонтальном проложении и направление промера – стрелками;
- проколы твердо опознанных точек – в кружках;
- смежества;
- привязки ориентиров к просекам с указанием промера;
- численный масштаб в двух направлениях и средний из них;
- дату и фамилию исполнителей.

При повторном лесоустройстве при наличии спектрозональных снимков и фотопланов промер ходовых линий не проводится, если определение границ выделов и ориентирование в лесу при таксации не вызывает сложностей. Длина ходовых линий и размеры привязок определяются по планшетам предыдущего лесоустройства. Подготовка фотоабриса выполняется только на основе камерального дешифрирования.

На фотоабрисах площадь кварталов разделяется на первичные однородные лесохозяйственные единицы – таксационные выдела. Таксационный выдел представляет собой участок лесной или нелесной площади лесного фонда, однородный по таксационным показателям и требующий проведения на всей площади одинаковых лесохозяйственных мероприятий.

Нормативы различий таксационных показателей смежных древостоев и минимальные площади выделов различных категорий земель приведены в лесоустроительной инструкции.

Разделение покрытых лесом площадей на таксационные выдела выполняется таксатором под стереоскопом по видимым различиям в

- тонах и цветах,
- составе,
- высоте,
- размерах и формах крон,
- сомкнутости полога
- других особенностях строения видимого полога древостоя.

Выразительность и видимость границ выделов определяются величиной различия в таксационных показателях смежных древостоев. При незначительной разнице или постепенной смене таксационных показателей границы выделов плохо определяются и слабо заметны на аэрофотоснимках. При дешифрировании таких границ выделов надо старательно изучить и проанализировать стереомодели полога древостоя.

Дешифрирование границ выделов надо проводить в следующем порядке:

- 1) не покрытых лесом и нелесных площадей;
- 2) четко очерченных границ покрытых лесом площадей ;
- 3) генеральных выделов, объединяющих несколько таксационных со слабо выраженными границами.

Границы генеральных выделов обычно совмещаются с природными рубежами: водоразделами, сломами рельефа, гидрологией района и др. и хорошо опознаются на аэрофотоснимках. При этом используются разница в таксационных показателях древостоев и отличия, обусловленные хозяйственной деятельностью человека (рубки, создание культур и т.д.) и стихийными бедствиями (гари, ветровалы, снеголомы и т.д.);

4) при стереоскопическом рассмотрении камерально определяются таксационные показатели (состав, возраст, средняя высота, тип леса, класс бонитета, сомкнутость полога, диаметр и др.) древостоев генеральных выделов.

Они разделяются на таксационные выдела, если разница в таксационных показателях смежных древостоев превышает таксационные границы, указанные в лесоустроительной инструкции.

По данным лесничества на фотоабрисы наносятся вырубки, лесосеки, культуры и другие объекты, которые появились после проведения аэрофотосъемки. Нечеткие границы выделов уточняются при проведении наземной таксации.

#### **9.4. Таксационно-дешифровочные тренировки**

Дешифрирование таксационных показателей является сложным комплексным процессом, совмещающим элементы стереоизмерений и внекамерного анализа стереомоделей. В настоящее время дешифрирование АФС и натурная таксация рассматриваются как один процесс изучения и описания древостоев и других категорий земель.

Для изучения особенностей древостоев используются материалы предыдущего лесоустройства. Для проведения тренировки на основе совместного изучения топокарт, планов лесонасаждений, таксационных описаний и аэрофотоснимков определяются ландшафтные дешифровочные признаки древостоев.

Для приобретения и выработки опыта дешифрирования таксационных показателей древостоев внекамерно-аналитическим и измерительным способами таксационно-дешифровочные тренировки проводятся на протяжении 3–5 дней [2].

Сначала на 10–12 таксационно-дешифровочных пробных площадях проводится дешифровочная, а затем натурная таксация. Данные дешифровочной таксации сопоставляются с данными перечислительной таксации древостоев пробных площадей. При этом выявляются ошибки, определяются их причины и вырабатываются способы и приемы их устранения.

Контрольное дешифрирование проводится на 10–15 таксационно-дешифровочных пробных площадях или выделах, протаксированных измерительными методами. Результаты дешифрирования записываются в сравнительные ведомости, и рассчитываются систематические и среднеквадратические ошибки по всем пробным площадям.

По результатам тренировок таксатор допускается до проведения дешифрирования АФС, если случайные ошибки в соответствии с Техническими требованиями по составлению фотоабрисов и дешифрированию аэрофотоснимков не превышают:

- по коэффициенту состава преобладающей породы  $\pm 1,5$  единицы;
- по возрасту до 100 лет  $\pm 1$  класс, старше 100 лет  $\pm 2$  класса возраста;
- по высоте для измерительных методов  $\pm 8\%$ , для камерной оценки  $\pm 15\%$ ; при средней высоте до 12 м измерительного метода  $\pm 1$  м, да камерной оценки  $\pm 2$  м;
- для полноты  $\pm 0,15$  единицы полноты;
- не менее чем в 70% случаев должны быть точно дешифрированы класс бонитета и товарности, группа возраста и тип леса или тип места произрастания.

Допустимая величина систематической ошибки для средней высоты, среднего диаметра и полноты по абсолютной величине не



должна превышать  $1/2$  абсолютной величины допустимой случайной ошибки.

Точность дешифрирования запаса определяется как производная от среднеквадратических ошибок дешифрирования полноты, средней высоты яруса и ошибок используемых таблиц или формул.

## **10. ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ЛЕСОВ НА ОСНОВЕ СОЧЕТАНИЯ НАЗЕМНОЙ И ДЕШИФРОВОЧНОЙ ТАКСАЦИИ**

### **10.1. Сочетание наземной и дешифровочной таксации**

При дешифрировании АФС масштаба 1/10 000-1/15 000 нельзя получить достаточную и достоверную информацию о всех категориях земель и насаждений. С достаточной точностью дешифрируются таксационные показатели простых по составу и строению, низкополнотных, одновозрастных древостоев старших классов возраста, не расстроенных рубками. Остальные древостои и категории лесных земель дешифрировать затруднительно, а иногда невозможно. Поэтому инвентаризация лесов III группы проводится на основе сочетания наземной и дешифровочной таксации по спектрозональным АФС  $1/M = 1/15\ 000$ . В зависимости от их сочетания выделено три варианта работ:

- повторное лесоустройство по III разряду – в натуре 25–40% площади,
- первичное лесоустройство по III разряду – в натуре 60–80 % длины квартальных просек,

– упрощенная инвентаризация – в натуре 20–30% выделов.

Наземная таксация заключается в изучении дешифровочных признаков за 10 лет. Резервные и горные леса не вовлекаются в экспертизу.

Лесотаксационные работы выполняются в течение 2 лет:

первый год – подготовительные, аэрофотосъемочные и дешифровочные,

второй год – дешифровочные и осмотр в натуре выделов, точность дешифрирования которых вызывает сомнение, а также молодняков, культур, не покрытых лесом земель.

## **10.2. Инвентаризация лесов в условиях радиационного загрязнения**

Из всех работников лесного хозяйства лесоустроители наиболее часто подвергаются радиационному облучению. С увеличением плотности загрязнения увеличивается угроза здоровью человека, но уменьшается хозяйственное значение лесов. Поэтому методы их таксации должны быть дифференцированы по зонам загрязнения.

В РБ площадь загрязненных лесов в 50 лесхозах составляет 2 720 тыс. га или 25,6% лесного фонда. По зонам они распределяются:

I зона проживания (1–4,9 Ку) – 72,8%;

II зона с правом на отселение (5–14,9 Ку) – 17,5%;

III зона последующего отселения (15,0–39,9 Ку) – 7,6%;

IV зона первоочередного отселения (40 и более Ку) – 2,1%.

*Катастрофические* условия для жизнедеятельности и ведения лесного хозяйства в Краснопольском, Чериковском, Чечерском, Наровлянском и Ветковском лесхозах.

*Очень тяжелые* – в Лельчицком, Хойниковском, Костюковичском, Быховском, Рогачевском и Ельском лесхозах.

*Тяжелые* – в Речицком, Кошелевском, Гомельском, Комаринском, Столинском и Калинковичском лесхозах.

При проведении инвентаризации лесов во всех зонах особое внимание должно уделяться использованию материалов АФС, прежнего лесоустройства, результатов хозяйственной деятельности и таксационных нормативов.

В лесах с загрязнением до 15 Ку/км<sup>2</sup> проводится наземная таксация глазомерная и измерительная таксация всех выделов.

Спелые древостой таксируются перечислительными и измерительными методами.

При загрязнении от 15 до 40 Ки/км<sup>2</sup> в натуре проводится глазомерная таксация спелых древостоев и выделов, в которых намечается осуществление лесохозяйственных мероприятий. Остальные выдела таксируются дистанционными методами, без натурного осмотра.

При загрязнении свыше 40 Ки/км<sup>2</sup> в зоне эвакуации (30км) инвентаризация проводится путем аналитико-измерительного дешифрирования по АФС для вновь появившихся выделов. Таксационные показатели остальных выделов определяются путем актуализации данных прежнего лесоустройства. Сначала инвентаризируются первые для выработки навыков при актуализации остальных данных.

Все леса загрязненных лесхозов относятся к I классу пожарной опасности. В пожароопасный период, независимо от фактической пожарной опасности по условиям погоды, пожарная опасность устанавливается как для дней с IV и V классам пожарной опасности. Авиапатрулирование проводится 5 раз в день.

Рекреационное использование, лесопатологические и противопожарные обследования лесов при загрязнении:

5–15 Ки/км<sup>2</sup> – доступ населения в леса ограничивается, рекреационное использование лесов запрещается;

15 Ки/км<sup>2</sup> и более – доступ посторонних лиц запрещается, дороги перекрываются шлангбаумами;

15 Ки/км<sup>2</sup> и более – лесопатологическое обследование проводится дистанционными методами с использованием вертолетов и совмещаются с пожарными авиапатрулями.

При радиационном загрязнении для составления планов охотхозяйств следует учитывать, что при уровне радиации:

1–5 Ки – ведется обычный режим охотхозяйства;

5–15 Ки – обычный режим, но с контролем всей продукции охоты;

15 и более Ки – участки не пригодны для ведения охотхозяйства.

По степени убывания концентрации загрязнения охотфауна располагается следующим образом:

волк – лиса – кабан – косуля – заяц-русак – лось.

Для уменьшения влияния радиануклеидов в добыче рекомендуется отстреливать: кабанов и косуль – 2 года и старше и лосей – сеголетков. В этом случае концентрация радиануклидов в 1,2–2 раза меньше.

### **10.3. Выявление и учет текущих изменений в лесном фонде по космическим снимкам**

Для этих целей используются увеличенные КС 1/М=1/300 000, обеспечивающие надежное дешифрирование категорий земель 15 га и более. В зависимости от наличия материалов лесоустройства обследование может проводиться на основе:

- совместного использования КС и материалов лесоустройства;
- совместной обработки КС до и после изменений в лесном фонде;
- выявления измененных площадей по КС с последующей аэротаксацией.

В результате обследования на схематических картах показываются участки леса, поврежденные пожарами, ветровалы, расстроенные рубками древостой и др. По таксационным описаниям определяются запасы сгоревшего, поврежденного и вырубленного леса и вносятся поправки в данные по учету лесного фонда. Новый расчет размера главного пользования производится, когда изменениями затронуто более 10% эксплуатационного фонда.

В корректирующей записке к проекту организации и развития лесхоза

- приводится анализ причин и последствий стихийных бедствий;
- уточняется размер главного пользования;
- намечаются мероприятия по использованию поврежденного леса, лесовосстановлению и улучшению охраны лесов.

При отсутствии материалов лесоустройства составляются корректирующая записка к учету лесного фонда и схематические карты размещения поврежденного леса.

Получаемые в Беларуси космические снимки со станции УНИСКАН позволяют иметь информацию о состоянии лесов и текущих изменениях в государственном лесном фонде, в режиме реального времени. Разрешение снимков с различных спутников варьирует от 1 км до 30 м.

После запуска белорусского космического спутника БелКА оперативность и качество получаемой информации значительно улучшится (планируемое максимальное разрешение 2,5м).

#### **10.4. Фотостатистический метод инвентаризации лесов**

Статистический метод учета лесов в последние годы находит все более широкое применение как у нас, так и за рубежом. В историческом аспекте статметод инвентаризации в Советском Союзе был теоретически обоснован и применялся еще при учете лесов в Лужском районе Ленинградской области в 1925 г. Несколько раньше (1919 –1923 гг.) статистический метод применялся в Скандинавских странах (Финляндии, Норвегии и Швеции).

В нашей стране и в зарубежной практике статметоды инвентаризации лесов проводятся, как правило, с разделением лесных массивов на какие-то однородные группы, называемые стратами. Время выделения страт, принципы и критерии их выделения принимают самые различные. Стратификация зависит от условий и целей инвентаризации, обеспеченности аэроснимками и их информационной возможности, изученности района работ и т.д.

Стратификация, или разделение древостоев по укрупненным таксационным показателям, ранее производилась при использовании мелкомасштабных аэроснимков, где более детальное дешифрирование таксационных показателей было не возможным. Такой подход к таксационно-дешифровочным работам вполне обоснован. В зависимости от фактической информативности аэроснимков не следует задаваться целью получить такую детализацию таксационных показателей, которую снимки не разрешают. Таким образом, методы предварительной стратификации лесного фонда и критерии выделения укрупненных участков – страт зависят от природно-экономических условий устраиваемого объекта и информационных возможностей используемых фотоснимков [15].

При использовании метода отрабатываются следующие задачи.

1. Изучаются таксационно-дешифровочные возможности исходных аэроснимков, для чего по натурным данным необходимо разработать признаки таксационного дешифрирования.

2. В процессе ландшафтно-геоботанических исследований устанавливаются лесотипологическая структура и ландшафтно-морфологическая дифференциация района работ. Рассматривается

схема типов леса, а также ландшафтные признаки дешифрирования типов леса и классов бонитета.

3. Применительно к условиям района работ и дешифровочным возможностям аэроснимков устанавливаются критерии объективности однородных участков – страт.

Объективность стратификации заключается в том, что выделяемые постоянные участки – страты соответствуют реально существующим ландшафтно-географическим территориальным единицам или морфологической структуре ландшафта. Поскольку лесоводственная территориальная единица – тип леса – наиболее соответствует ландшафтной единице – фации, то в зависимости от масштаба аэроснимков необходимо применительно к оптимальной схеме типов леса или типов условий произрастания выделять фации, группы фаций или урочища.

Укрупненные типы леса соответствуют чаще всего ландшафтным единицам, группам фаций и урочищам. При улучшении качества исходных снимков дешифрирование растительных условий может осуществляться и с большей детализацией, а принадлежность выделяемых укрупненных участков к тем или иным ландшафтным единицам необходимо уточнять для каждого конкретного случая.

При дешифрировании укрупненные участки, выделенные на основании однородности лесорастительных условий, подразделяются по группам таксационных показателей:

- группа преобладающих пород (сосна, ель, береза и осина);
- группа возраста (молодняки, средневозрастные и приспевающие, спелые и перестойные);
- группа полнот (высокополнотные – 0,9–1,0; среднеполнотные 0,6–0,8; низкополнотные – 0,3–0,5).

Как отмечалось, высота древостоя и классы бонитета при стратификации в расчет не принимаются, поскольку они являются производными типов леса и возраста древостоя.

С высокой точностью дешифрируются наиболее распространенные типы условий произрастания – 55–88%. Точность отождествления преобладающей породы – 56% (ель), 81% (береза), 72% (сосна). Соответствие отдешифрированной и истинной производительности по классам бонитета совпадает на 81%. Дешифрирование групп полноты соответствует действительным на 96%.

Такая точность дешифрирования основных таксационных показателей для предварительной стратификации лесного фонда представляется вполне удовлетворительной. Отдельные ошибки и неточности в их определении могут быть исправлены во время дешифрирования крупномасштабных снимков при извлечении выборки.

Фотостатистический метод инвентаризации лесов проводится в резервных лесах III группы. В основу метода положено использование КС, выборочных крупномасштабных АФС (1/10 000) и небольшого объема натурной таксации для изучения дешифровочных признаков аэрокосмических снимков.

На космических снимках территория объекта разделяется на ландшафты, а в их пределах – на страты: бассейны рек, покрытые лесом, не покрытые лесом и нелесные земли. По комплексу ландшафтных и цветовых признаков и особенностям рисунка изображения покрытая лесом площадь делится на страты по преобладающим породам или группам пород, группам лесорастительных условий, возраста и полнот. В зависимости от числа и площадей страт вычисляется количество фотопроб для определения запаса с точностью  $\pm 5\%$  (фотопроба – круг или квадрат на АФС). Выборочная АФС проводится сплошными маршрутами.

Фотопробы и выдела на АФС в пределах их рабочих площадей дешифрируются аналитико-измерительными методами. Они принимаются за единицу выборки для распределения площадей страт по породам, группам возраста, классам бонитета и полнотам. Остальные таксационные показатели устанавливаются на основе взаимосвязей.

Планы насаждений изготавливаются по космическим снимкам.

### **10.5. Аэровизуальное обследование и аэротаксация лесов**

Для получения данных о лесном фонде Сибири, Севера и Дальнего Востока с 1936 г. по 1947 г. проводилось аэровизуальное обследование лесов (400 млн.га). При проведении обследования над лесными массивами прокладывались прямолинейные маршруты на равном расстоянии. Высота полета и расстояние между маршрутами устанавливались так, чтобы при полете можно было осмотреть 60–70% расстояния между маршрутами. Полеты проводились на высоте 400 – 500 м, а расстояние между маршрутами составляло 4 км. При полете строго выдерживалась высота и скорость полета. Протяжение

выдела по маршруту определялось по времени полета, в сторону – в единицах высоты полета по отметкам на крыльях самолета. На абрисе вблизи маршрута границы выделов замыкались, остальные – проводились в сторону на 60–70% расстояния между маршрутами [8].

Таксационные характеристики записывались на абрисе в виде формулы: состав, класс возраста – в числителе, бонитет и полнота – в знаменателе, возможны пояснения. С абрисов выдела переносились на карту. Таксационное описание составлялось по бассейнам рек. Сроки проведения таких работ составляют: 1 мин. – 3 выдела, за 1 ч. – 30 тыс. га, за сезон – 2,5–3,5 млн. га.

С 1948 г. проводится аэротаксация лесов по АФС 1/25 000 – 1/50 000. Снимки делятся на два комплекта – четные и нечетные. Предварительно дешифруются границы выделов и наносится маршрут полета самолета. При этом дешифрировании границ выделов таксатор освобождается от зарисовки выделов.

При использовании АФС 1/10 000– 1/15 000 предварительно проводилось дешифрирование границ выделов, таксационных показателей, которые уточнялись в полете.

С 1954 г. в лесоустройстве применяются вертолеты. Небольшая скорость (60–80 км) и высота (50–100 м) дают возможность с высокой точностью определять таксационные показатели и совершать посадку для проведения наземной таксации. В 70–80% выделов точность не выходит за пределы норм допустимых отклонений для глазомерной таксации, а стоимость на 8–12% была меньше.

## **11. СОСТАВЛЕНИЕ ЛЕСНЫХ ПЛАНОВ И КАРТ ПО МАТЕРИАЛАМ АЭРОСЪЕМКИ**

### **11.1. Геодезическое обоснование и привязка аэроснимков**

Для составления планов и карт по материалам АФС необходимо иметь сеть пунктов с известными координатами. Главную плановую геодезическую основу составляют пункты государственной геодезической сети, а в высотном отношении – марки и реперы. В дополнение к ней составителями карт и планов создается рабочая основа. Для этого подбираются хорошо заметные 2 опознака на маршрут, один – вначале, другой – в конце или 4–5 на планшет.

Процесс планового обоснования называется привязкой АФС, которая заключается в установлении связи фотоизображения с системой геодезических координат. Привязка АФС к



лесоустроительным картографическим материалам проводится обычно по квартальным просекам. Опознаки по координатам наносятся на планшет – основу будущего плана.

В результате трансформирования достигается полное совмещение центральной и трансформационных точек диапозитива с соответствующими точками основы. В этом случае все детали аэрофотоснимка получается отображенными в трансформированном виде.

При решении вопроса правильной накладки квартальной сети на лесоустроительные планшеты руководствуются тем, что квартальная сеть является частью рабочей основы, к которой привязывается специальное содержание. Установленные в натуре границы выделов и контуры нелесных площадей фиксируются относительно разбитого на просеках пикетажа. Нанесенные на лесоустроительный планшет кварталы являются учетными единицами площади, по которым выполняются все картометрические работы. На основании последних получают конечные результаты лесоустроительных и таксационных работ.

Правильно опознанная в натуре и привязанная к жестким точкам квартальная сеть после нанесения на планшет определяет положение, форму и площади кварталов, границы выделов и их соотношения и в целом дает возможность получить достоверные данные по учетным единицам - кварталам, таксационным участкам и лесоустраиваемой площади. Следовательно, получение конечных результатов лесоустройства и таксации стоит в прямой зависимости от качества опознавания и привязки просечной сети и ее нанесения на планшет.

В результате выполнения комплекса полевых топографо-геодезических работ сдаются в производство полученные исходные материалы. В лесоустроительной практике используются:

1. Журнал маркировки планово-высотных опознаков является документом, в котором даны исчерпывающие данные по местоположению, форме, размерам маркировочного знака и высоте окружающего леса.

2. Аэрофотоснимки крупного масштаба с полевым дешифрированием и опознанием точек планово-высотной подготовки.

3. Аэрофотоснимки мелкого масштаба предназначены для сгущения планового и высотного обоснования на мультиплексе и развития пространственной фототриангуляции по аэрофотоснимкам.

Точки плановой основы на левой стороне имеют абрисы и описания, а прочие – пояснительные характеристики.

4. Отчетные репродукции накидного монтажа со схемой планово-высотного обоснования дают полную характеристику планово-высотных топографо-геодезических работ на район. Каждая схема включает 4 трапеции масштаба 1/25 000, т.е. дается в планшетных рамках 1:50 000 масштаба международной разграфки. На репродукцию нанесены все пункты (основные и контрольные), высотные опознаки и точки, грунтовые, скальные и временные реперы, урезы вод. Все оформлено присвоенными условными обозначениями и сопровождается соответствующими подписями.

5. Каталог рабочих координат планово-высотной аналитической сети дает предварительные рабочие координаты определенных в поле планово-высотных опознаков.

## **11.2. Трансформирование аэроснимков. Приборы и программные средства трансформирования**

Трансформирование аэроснимков означает действие по превращению или преобразованию центральной проекции, которую представляет собой аэроснимок, в какую-нибудь иную центральную проекцию. Путем центрального проектирования можно получить бесчисленное множество новых центральных проекций. Однако в фотограмметрии в результате трансформирования аэроснимков получается не бесчисленное множество преобразованных проекций, а только одна, отвечающая задачам и целям трансформирования.

В результате трансформирования аэроснимков в общем случае решают три задачи: устраняют разномасштабность аэроснимков, возникающую в результате изменения в полете высоты фотографирования  $H$ ; устраняют разномасштабность в пределах аэроснимков, обусловленную влиянием угла отклонения главного направления от отвесной прямой; уменьшают влияние рельефа местности на несовпадение точек трансформированного аэроснимка с плановым положением соответствующих точек местности.

Трансформирование АФС – приведение к единому масштабу в результате устранения искажений из-за наклона АФС, рельефа и изменения высоты полета.

Центральная проекция в плоскости может быть получена и зафиксирована различными способами.

Фотомеханический способ. Трансформирование аэроснимков фотомеханическим способом производится при помощи фототрансформаторов. Фототрансформатор обычно имеет механизмы, позволяющие придать плоскостям негатива, экрана и плоскости объектива такое взаимное расположение, при котором оптическое изображение не будет отличаться от центральной проекции. Оптическое изображение, полученное на экране фототрансформатора, можно зафиксировать на фотографическую бумагу.

Оптико-графический способ. Для оптико-графического трансформирования существуют оптико-механические приборы, при помощи которых производится оптическое центральное проектирование трансформируемого аэроснимка. В результате на экране или столе получается центральная проекция, идентичная проекции, в виде оптического изображения трансформируемого аэроснимка. Полученная на экране или столе проекция вычерчивается карандашом в условных знаках.

### **11.3. Составление фотосхем и фотопланов**

При решении по плановым нетрансформированным аэроснимкам некоторых задач часто бывает удобно пользоваться не отдельными аэроснимками, а составленными из них фотосхемами. Бывают случаи, когда выгодно пользоваться одновременно и отдельными аэроснимками и фотосхемами.

*Фотосхемой* называется фотографическое изображение местности, полученное путем монтажа (соединения) частей аэроснимков, или фотосхема – приближенный плановый материал, изготавливаемый без проведения полевых геодезических работ.

Простая фотосхема изготавливается путем монтажа и наклейки центральных частей АФС, разрезанных посередине перекрытий. Для уменьшения накопления ошибок монтаж начинается со среднего снимка среднего маршрута. При составлении уточненных фотосхем координаты плановых опознаков определяются по топокартам [14].

Способы изготовления фотосхем зависят главным образом от их назначения. Если фотосхема предназначена для дешифрирования контуров или используется в качестве обзорного материала, то основное внимание обращается на фотографическое качество. Если изготавливаемая фотосхема предназначена для каких-либо измерений или съемок, то основное внимание при изготовлении таких фотосхем

обращается на их точность. Подобного рода фотосхемы часто называют уточненными.

При выполнении контурной аэрофотосъемки используют плановые оригинальные аэроснимки (негативы) либо контактные отпечатки с них. В некоторых случаях целесообразно применять не негативы и контактные отпечатки, а увеличенные при помощи увеличительных аппаратов аэроснимки.

Трансформирование и монтирование обширных фотосхем с АФС может проводиться и следующим образом. Снимки разрезаются посередине перекрытий, и их центральные части наклеиваются на планшет-основу и приводятся к заданному масштабу.

*Фотоплан* – фотографическое изображение местности в заданном масштабе. При составлении фотопланов координаты плановых опознаков определяются на основе геодезических измерений в натуре. Дальше техника составления та же, что и при составлении уточненных фотосхем.

#### **11.4. Составление планшето́в и планов насаждений.**

*Планшет* – графический план части лесной территории в заданном масштабе (1/10 000). Размер планшетного листа 60×60 см, рабочей площади 50×50 см. Геодезической и контурной основой при I и II разряде лесоустройства является фотоплан.

С фотопланов на восковку копируются планшетные рамки, квартальные просеки, границы и топографические объекты. С рабочих АФС с помощью приборов с переменным увеличением переносятся границы выделов и другие объекты. Ситуация вычерчивается тушью в условных знаках. Копии планшето́в изготавливаются типографским способом ( лавсановая пленка, специальная бумага СБП 95/97) [14].

*План лесонасаждений* составляется путем монтажа на восковке (под которой помещают топокарту 1/М=1/25 000) уменьшенных фотокопий планшето́в на прозрачной пленке в масштабе 1/25 000. При наличии в лесничестве нескольких разбросанных участков они сближаются, а на свободном месте дается их действительное расположение в произвольном масштабе. Планы размножаются типографским способом. Покрытая лесом площадь по породам раскрашивается в 4 тона: молодняки, средневозрастные, приспевающие, спелые и перестойные.

*Схематические карты* лесхозов (1/50 000–1/100 000) изготавливаются путем монтажа уменьшенных фотокопий планов лесонасаждений и размножаются типографским способом.

В 2002 г. объединенными усилиями специалистов отдела картографии информационно-вычислительного центра ЛРУП «Белгослес» и РУП «Белгеодезия» разработана автоматизированная технология формирования планово- картографических материалов, которая начала активно внедряться в лесоустроительное производство.

Технология базируется на использовании компьютерного оборудования и базовых программных продуктов (Geographic Transformer и Easy-Trase) и программного комплекса «ForMod», разработанного на базе ГИС «Mapinfo Professional».

Источниками информации для формирования планово- картографических материалов являются: имеющиеся на предприятии таксационные базы данных, фонд топографических карт, лесоустроительные планшеты и отдешифрованные аэрофотоснимки.

Применение топографических карт в качестве геодезической основы является главным условием новой технологии. Помимо четкой привязки лесных объектов, достигается абсолютная точность совмещения границ лесных предприятий со смежными землепользователями, стыковка границ лесных предприятий между собой, совместимость лесных электронных карт с электронными картами других ведомств, в частности, со службой землеустройства. Кроме того, появляется возможность создавать единые лесные электронные карты на территорию республики.

Одним из основных этапов создания цифровых моделей лесохозяйственных предприятий является привязка растровых изображений исходных материалов (топокарт, планшетов, снимков). Суть этой операции состоит в том, чтобы от растровых (экранных) координат перейти к нужной картографической проекции. Для этих целей используется программный продукт Geographic Transformer. После привязки растровых изображений можно получить координаты любой точки на растре, в том числе и границ объекта, нанесенных на лесоустроительные планшеты и заверенных печатью и подписями отдела земельных ресурсов и землеустройства.

По растровым изображениям топокарт и планшетов с использованием программы-векторизатора Easy-Trase векторизуются:

граница объекта лесоустройства; объекты топографической нагрузки, необходимые для оформления планов и карт-схем; по снимкам векторизуется вся внутренняя ситуация. Каждому отвекторизованному объекту присваиваются атрибутивные данные, позволяющие уже на этапе векторизации частично формировать информативную часть для лесоустроительных карт, например, номер таксационного выдела, название реки или населенного пункта (рис.17).

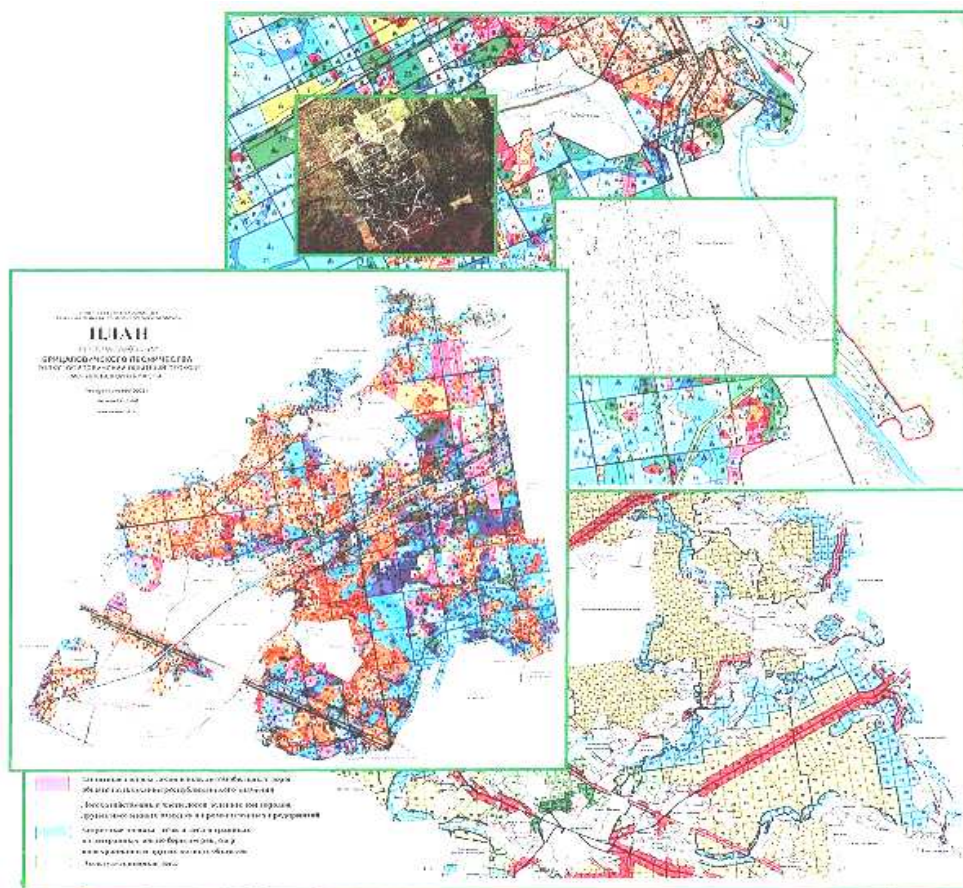


Рис. 17. Создание планово-картографических материалов в геоинформационной системе FORMOD

Дальнейшая обработка информации осуществляется в программном комплексе Formod, который создает цифровую модель лесохозяйственного объекта для получения цифровых издательских материалов: лесоустроительных планшетоов масштаба 1:10 000; планов лесничеств масштаба 1:25 000, окрашенных по преобладающим породам и группам возраста; обзорных планов проектируемых хозмероприятий; планов размещения ягодников, лекарственного

сырья; планов лесонасаждений лесохозяйственных мастерских участков и обходов; карт-схем лесхозов масштаба 1:100 000 – 1:200 000, окрашенных по преобладающим породам и группам возраста.

Перечисленные выше планово-картографические материалы оформляются в соответствии с действующими нормативными документами. Любой цифровой издательский оригинал может быть выведен на печать целиком или с разбивкой на клапаны, размер которых задается.

При формировании цифровых издательских оригиналов карт-схем лесхозов выполняются операции по объединению карт входящих в их состав лесничеств и заполнению участков между ними элементами топографической основы соответствующего масштаба.

Перспективы развития технологии автоматизированного картографирования лесного фонда связаны, в первую очередь, с разработкой программного комплекса для внесения текущих изменений в картографическую базу данных, чтобы поддерживать ее в актуальном состоянии. Проще говоря, возможность внесения текущих изменений, происходящих в лесном фонде в результате хозяйственной деятельности и стихийных воздействий, обеспечит получение достоверных и постоянно обновляемых планово-картографических материалов в виде твердой копии и в электронном виде.

Второе направление – это развитие ГИС «Лесные ресурсы» на основе создаваемых точных лесных карт с целью использования возможностей геоинформационных систем на всех уровнях управления (лесничество – лесхоз, ПЛХО, Минлесхоз), а также при кадастровой оценке лесов, комплексном лесном мониторинге, охотоустройстве и т.д. Автоматизированная система лесного картографирования создана в ОС Windows NT/98 на платформе ArcView GIS 3.2 с рядом разработанных для нее приложений, а также специализированной ГИС «Лесные ресурсы» (Formap 2.0).

Комплекс задач по картографированию можно разделить на несколько этапов:

- 1) создание фотоплана и объекта в растровой форме с векторизацией границ квартальных просек;
- 2) подготовка картографической основы на объект;
- 3) создание картографической базы данных цифровых лесоустроительных планшетов;

4) получение векторных лесных карт путем векторизации лесоустроительных планшетов или конвертирования их из ГИС Formar 2.0 в ArcView GIS;

5) ситуационное совмещение (трансформация) полученных векторных карт с фотопланом и топографической основой;

6) оценка точности местоположения границ объектов и их редактирование, ввод на векторную карту необходимых картографических объектов с топографической основы;

7) экспорт цифровых лесных карт в ГИС «Лесные ресурсы», печать лесоустроительных планово-картографических материалов.

Каждый из приведенных выше этапов характеризуется определенным перечнем работ и программным обеспечением для их выполнения. Так, создание фотоплана предусматривает проведение следующих работ:

1) сканирование аэрофотоснимков;

2) трансформация изображений аэрофотоснимков в накидной монтаж;

3) графическая коррекция трансформированных изображений;

4) создание базы данных аэрофотоснимков в виде каталога изображений по картографическим трапециям;

5) трансформация полученного накидного монтажа в заданную систему координат и создание фотоплана.

Картографические базы данных геоинформационных систем создаются и функционируют в формате векторной графики. Для проведения векторизации лесоустроительных планшетов используются основы при условии, что аэрофотоснимки были предварительно дешифрованы. Создание картографической базы данных может производиться путем векторизации необходимых объектов с фотоплана и топографической карты и их сведение в формат общей цифровой карты. Данная технология предусматривает три этапа работ:

- 1) создание координатной сетки трансформации;
- 2) трансформация векторной модели;
- 3) объединение трансформированных векторных изображений.



## **12. КОСМИЧЕСКАЯ СЪЕМКА**

### **12.1. Сущность космической съемки. Классификация космических снимков**

Космической называется съемка земной поверхности с космических летательных аппаратов (КЛА) с минимальной высоты 140 – 150 км, максимальная высота определяется минимально целесообразным масштабом съемки. КЛА подразделяются на искусственные спутники земли (ИСЗ) без экипажа, пилотируемые космические корабли с экипажем (ПКК), межпланетные автоматические станции и спутники.

Разработка программы «Шатл» стоила около 10 млрд. долларов, каждый запуск спутника – 10 млн. долларов, стоимость запуска ИСЗ – 15–20 млн. долларов, спутников связи – 40–45 млн.

Для получения близких по масштабу снимков обычно используются круговые орбиты с высотой для ПКК – 200–400 км, для метеорологических спутников – 600–1500 км. Значительная высота орбиты и малое фокусное расстояние (20–300 мм) определяют мелкие масштабы космических снимков (1/1 000 000) и мельче (рис. 18).

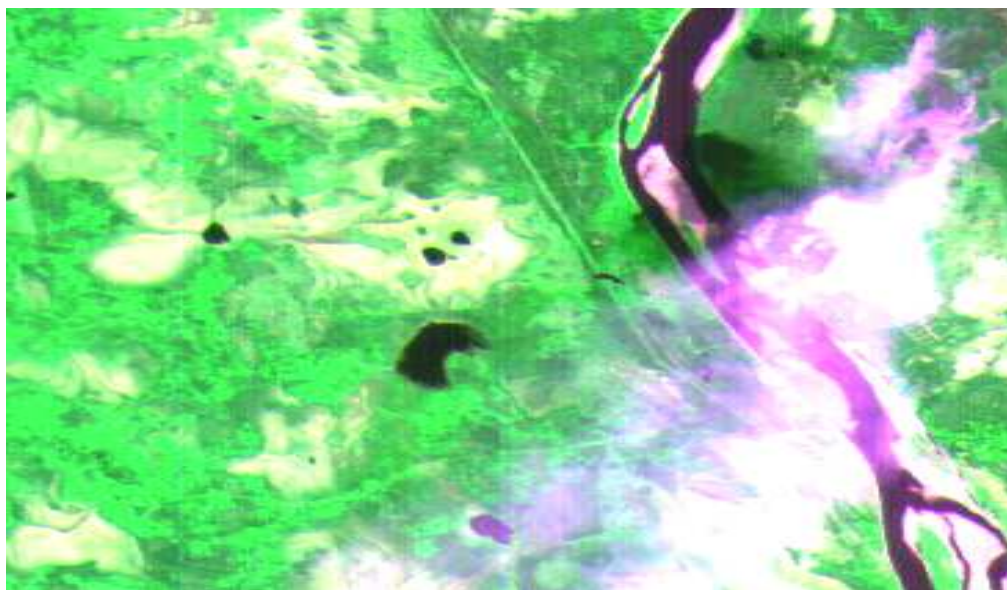


Рис. 18. Мелкомасштабный космический снимок

Космические снимки позволяют получить важную информацию о лесах и протекающих в них процессах и явлениях. Однако использование космических снимков не исключает необходимости

проведения аэрофотосъемок и наземных работ, хотя потребность в их проведении значительно уменьшается. Только при совместном использовании материалов всех видов съемок можно получить наиболее достоверную информацию о лесах и их состоянии.

Классификация космических съемок проводится: по обзорности, масштабу, разрешению на местности, детальности и т.д.

По обзорности космические снимки разделяются на:

*глобальные* снимки – изображают части планеты или материков с масштабом  $1/M=1/10\ 000\ 000$  и мельче, имеют разрешение от нескольких километров до десятков метров;

*региональные* – части материков и крупных регионов, при масштабе от  $1/5\ 000\ 000$  до  $1/10\ 000\ 000$ , разрешении – сотни метров (широко используются в метеорологии);

*локальные* – отдельные страны, регионы, с масштабом  $1/1\ 000\ 000$ – $1/5\ 000\ 000$ , разрешением – десятки метров (применяются для составления мелкомасштабных карт);

*детальные* – районы, области, при масштабе  $1/100\ 000$ – $1/500\ 000$  и разрешении 5–10 м (получают с высоты до 200 км, длиннофокусными космическими фотоаппаратами (КФА) для изучения лесного фонда и оценки его состояния).

По масштабу космические снимки делятся на: мелкомасштабные – с масштабом  $1/10\ 000\ 000$  и мельче; среднемасштабные –  $1/1\ 000\ 000$ – $1/10\ 000\ 000$ ; крупномасштабные –  $1/1\ 000\ 000$  и крупнее.

По разрешению на местности:

*очень малого разрешения* – десятки километров (такое разрешение характерно для снимков, полученных с межпланетных автоматических станций, высокоорбитальных ИСЗ, а также с метеорологических ИСЗ с помощью сканирующих радиометров);

*малого разрешения* – 1 км (преимущественно телевизионные, сканерные и радиолокационные съемки с метеорологических ИСЗ);

*среднего разрешения* – около 100 м (сканерные и телевизионные снимки с ресурсных ИСЗ (Метеор, LANDSAT) и фотографические, получаемые с ПКК широкоугольной фотоаппаратурой);

*высокого разрешения* – десятки метров и *очень высокого разрешения* – 1 м и менее (такое разрешение характерно для снимков, получаемых с ПКК, АКК, ИСЗ LANDSAT, Космос, SPOT высококачественной фото- и сканерной (телевизионной) аппаратурой

или высококачественной длиннофокусной фотоаппаратурой с низких орбит).

По детальности изображения, которая взаимосвязана с разрешающей способностью, снимки могут быть разделены на три группы:

малой детальности – около 5 линий/мм (преимущественно телевизионные и сканерные снимки с метеорологических ИСЗ. Работу по их дешифрированию целесообразно выполнять с оригиналами и при увеличении 2 – 5раз);

средней – около 10 линий/мм, позволяют работать при увеличении в 5–10 раз (снимки фототелевизионные, а также с ресурсных ИСЗ и фотоснимки, полученные стандартной аппаратурой, аналогичной применяемой при аэрофотосъемке);

информативные – 20 и более линий/мм (несут очень большой объем информации и позволяют работать при увеличении оригинальных снимков 10–30 раз).

## **12.2. Общая характеристика методов дистанционного зондирования**

В широком смысле дистанционное зондирование Земли (ДЗ) – это получение любыми неконтактными методами информации о поверхности Земли, объектах на ней и в ее недрах. Примером может являться АФС. Однако традиционно к данным ДЗ относят только те методы, которые позволяют получить из космоса или с воздуха изображение земной поверхности в каких-либо участках электромагнитного спектра. В узком смысле дистанционное зондирование земли – это получение информации с использованием аппаратуры, установленной на борту космических аппаратов.

Дистанционные методы характеризуются тем, что регистрирующий прибор значительно удален от исследуемого объекта. При таких исследованиях явлений и процессов на земной поверхности расстояния до объектов могут изменяться от сотен до тысяч километров. Это создает максимальный обзор поверхности и позволяет получить максимально генерализованные изображения [4].

Длины волн оптического диапазона меньше длин волн теплового или радиолокационного. Поэтому оптические наблюдения, фиксируемые на фотопленку или с помощью сканирующих устройств, более информативны и точны.

Дальнейшая задача обработки заключается в интерпретации имеющихся данных для получения информации о свойствах исследуемых объектов. Однако сложность и особенность получения ДДЗ определяется значительным влиянием помех на полезный сигнал.

В отличие от наземной фотограмметрической съемки, где условия выбираются и влияние среды практически исключается, при космической съемке аппарат непрерывно перемещается относительно объекта исследования, что приводит к непрерывной смене условий съемки, в частности могут меняться отражающие характеристики объекта исследований.

Кроме того, величина помех при космических съемках может на порядок превосходить помехи при наземной съемке [9].

К числу помех можно отнести:

- физические характеристики слоев воздуха и воды;
- оптические характеристики слоев воздуха и воды;
- геометрическое положение объекта на земной поверхности по отношению к космическому аппарату;
- активность Солнца и влияние этой активности на атмосферу;
- активность ионосферных слоев в зависимости от времени года, годового цикла, солнечной активности, космических излучений;
- облачный покров для оптического диапазона;
- наличие нескольких «окон прозрачности» атмосферы и их состояние в видимом инфракрасном и радиодиапазоне;
- собственное излучение Земли.

Все эти факторы не влияют на съемку с поверхности Земли, но становятся источниками помех при дистанционных космических исследованиях.

В настоящее время для съемок из космоса используются различные виды технических средств, которые включают:

- системы традиционной фотографической регистрации изображения (фотопленка, отснятая в космосе, на земле проявляется и сканируется на прецизионных просветных сканерах для использования в геоинформационных технологиях);
- многозональные съемочные системы;
- системы получения инфракрасных (тепловых) снимков;
- сканирующие системы реального времени, оперативно передающие информацию на Землю по каналам связи;
- радиометрические съемочные системы, в том числе так называемые радары с синтетической аппаратурой (РСА);

– системы когерентного оптического зондирования.

В настоящее время для лесохозяйственных целей наиболее широко используются материалы **сканерных съемок**.

Сканерный снимок состоит из отдельных элементов – пиксел, свет от которых (яркость) преобразуется в электрические шкалы и по радиоканалам передается на Землю или записывается на носители. Сканерные съемки проводятся для получения оперативной информации для охраны лесов от пожаров, оценки санитарного состояния и антропогенной деятельности человека. Сканерные снимки могут передаваться на Землю в режиме реального времени (on-line) в цифровой форме, что облегчает ее машинную обработку [21].

Сканерная съемка проводится с ИСЗ LANDSAT (США), SPOT (Франция), Метеор – Природа и Космос-2000 (Россия). Чаще она поступает в виде многозональных изображений. Разрешение русских систем от 1,5 км до 40м.

Размер пиксела определяет детальность (разрешение) изображения на местности. По разрешению сканерные снимки уступают фотоснимкам, но съемку можно проводить в узких зонах спектра, в которых наиболее значительно выражены различия между природными объектами. Сканирование осуществляется в горизонтальном направлении и перпендикулярном ему.

**Радиометрическое обследование** – пассивная и активная съемка в радиодиапазоне. Традиционно съемку в радиодиапазоне относят к активной, т.е. использующей аппаратуру, посылающую излучение на объекты земной поверхности и фиксирующую отраженный сигнал. Съемку проводят в ультракоротковолновом диапазоне радиоволн с длинами 1 мм – 10 м, точнее в его коротковолновой части 1 мм – 1 м. Этот поддиапазон в отечественной литературе называют сверхвысокочастотным диапазоном, а в американской – микроволновым.

Пассивная радиометрическая съемка выполняется аналогично другим видам пассивных съемок. Она осуществляется с помощью микроволновых радиометров, которые регистрируют микроволновое излучение различных объектов. Это излучение называют радиояркостной температурой, что сближает технологию радиометрической съемки с тепловой. По этой причине данный вид съемки называют также радиотепловой или микроволновой радиометрической съемкой.

Работа космических микроволновых систем, дающих изображение, началась с 1973г. на метеорологических спутниках «Нимбус-5», «Нимбус-7», система «Зенит». Пассивные радиометрические снимки относятся к снимкам низкого разрешения до 12 км.

**Радиолокационная съемка.** Радиолокационные снимки получают на основе облучения объекта наблюдения активной станцией (радаром) и фиксации отражения этого излучения. В отличие от других космических съемочных систем, регистрирующих отраженное оптическое или тепловое излучение, радар – активный сенсор. Не нуждается во внешних источниках освещения. Он как бы сам «освещает» исследуемую территорию. Это определяет основное достоинство радарных снимков – независимость от времени суток и года, погодных условий. Гладкие поверхности (пески, пляжи) изображаются темным тоном, более неровные и зернистые – светлее. Растительность – светлый тон.

В радиодиапазоне работают ИСЗ «Космос 1870» (длина волны 9,6 см, разрешение 25 м, полоса съемки 20 км) и «Алмаз-1» (длина волны 9,6 см, разрешение 10–15 м, полоса обзора – 40–56 км). Японский ИСЗ JERS-1 (разрешение 18 м, полоса съемки 75 км, диапазон волн от 0,52 мкм до 2,4 мкм). Европейский ИСЗ ERS-1 позволяет вести съемку одной территории через 35 дней с разрешением 30 м и полосой съемки 100 км.

**Лазерное зондирование.** Лазерным зондированием, или лазерной локацией, называют съемку, занимающуюся обнаружением и определением местоположения различных объектов при помощи электромагнитных волн оптического диапазона, излучаемых лазерами. Она может быть пассивная и активная. Чем меньше длина волны, тем меньше объект, который можно обнаружить с помощью активной локации. Поэтому преимуществами лазерной локации являются более высокая точность определения положения объекта и более высокое разрешение. Предшественниками лазерных локоаторов были лазерные дальномеры. Достоинством ЛЗ является возможность не только запеленговать объект, но и получить изображение зондируемого участка поверхности. Системы ЛЗ установлены на ИСЗ НАСА Explorer-22.

**Космовизуальные наблюдения** проводятся для изучения наземных объектов, метеорологических явлений и оптических процессов в атмосфере, выявления грозовой и ресурсной облачности.

Глазомерно хорошо различаются природные ландшафты, леса, лесные пожары по шлейфам дыма, пылевые бури и т.д. При высоких контрастах уверенно различаются объекты – 60 м, умеренных – 600 м, малых – 1200 м. Однако космонавты различают и более мелкие объекты: железные и шоссейные дороги, поезда, шлейфы пыли за автомобилями, крупные самолеты на большой высоте, мосты, повреждения лесов, грозовую и ресурсную облачность.

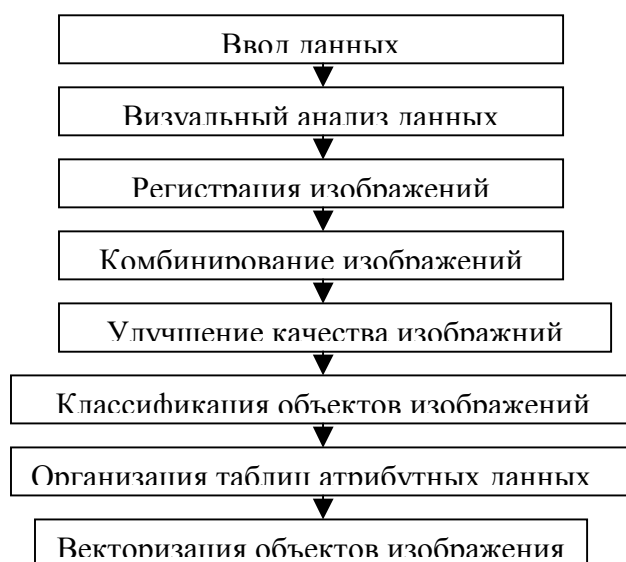
Информация, полученная при визуальных наблюдениях циклонов, облачных вихрей, тропических штормов, области активной грозовой деятельности и прочих метеорологических явлений, поступает в Гидрометеоцентр, где ее используют при составлении синоптических сводок и передают заинтересованным организациям.

Во время визуальных наблюдений опознают заранее намеченные объекты фотографирования и спектрометрирования.

### **12.3. Порядок приема и обработки информации с космических спутников**

В настоящее время данные дистанционного зондирования ДДЗ являются самым оперативным источником получения геоинформационных данных. Они являются основным источником для поддержания информации ГИС в актуальном состоянии, особенно если фактор актуальности играет решающую роль.

Схема обработки приведена ниже (рис. 19).



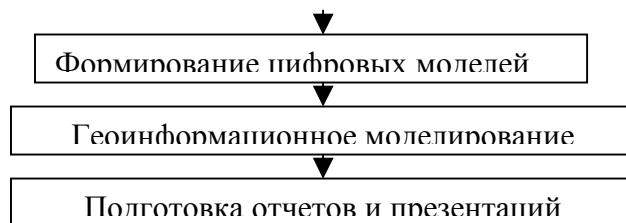


Рис. 19. Схема обработки ДДЗ в ГИС-технологиях

На первом этапе обработки осуществляется либо импорт данных, полученных со спутника, либо сканирование.

Второй этап предполагает обязательный анализ данных для последующего составления плана обработки изображений,

На третьем этапе осуществляется регистрация изображений. В случае необходимости они могут быть переведены в заданную картографическую проекцию.

В технологии ДДЗ ведущую роль на стадии сбора играют цифровые методы обработки изображений.

На четвертом этапе – объединение, или комбинирование, нескольких изображений с целью получения целостной картины исследуемого объекта или явления.

На следующем этапе изображение, синтезированное из нескольких разных изображений, подвергается обработке с целью улучшения качества и приведения разных характеристик исходных объектов к единым характеристикам одного синтезированного изображения.

Для повышения качества дешифрирования объектов и улучшения качества векторизации растрового изображения на шестом этапе осуществляется автоматизированная классификация объектов изображения и их группирование по свойствам. Благодаря этому существенно упрощается организация атрибутивных данных.

Следующий этап создает основу для применения ГИС-технологий. В нем происходит создание структур атрибутивных данных в соответствии с требованиями конкретной ГИС и формируется структура связей позиционных и атрибутивных данных.

На восьмом этапе осуществляется векторизация растрового изображения с использованием данных классификации и организованной связи координаты-атрибуты. На этом этапе осуществляется существенное сжатие исходных данных при сохранении информативности о выбранных объектах (в 2–3 раза).



На девятом этапе осуществляется построение цифровой модели как основы хранения данных и моделирования в ГИС.

На десятом этапе осуществляются процедуры геоинформационного моделирования, цель – полное исследование объектов ГИС.

На последнем этапе результаты геоинформационного моделирования оформляются в виде отчетов, презентаций, справок, карт и других документов.

В целом уровень автоматизации комбинированной ГИС-технологии, включающей методы обработки ДДЗ, выше, чем многих других ГИС-технологий. Он является наиболее перспективным, поскольку способствует расширению возможностей геоинформационных систем как систем обработки [22].

Эта комплексная технология включает в себя:

- фотограмметрический анализ изображений, картографический анализ исходной информации;
- автоматизированные методы обработки информации, которые переносят нагрузку на компьютер, позволяют выявлять факторы, которые человек визуально определить не может;
- эвристические методы анализа информации, основанные на традиционной статистической обработке и анализе;
- анализ временных наборов данных (временных рядов), которые позволяют исследовать динамику процесса и явления во времени.

Недостатком такой технологии является требование значительных вычислительных ресурсов, мощных программных средств и более квалифицированного пользователя. Специалист по обработке данных в такой технологии должен знать не только картографию, но и теорию автоматизированной обработки изображений, статистический анализ и элементы теории поддержки принятия решений.

Дистанционные методы представляют большое количество информации о местности. Геоинформационный анализ – понятие многоаспектное. По методам и результатам обработки анализ подразделяют на качественный и количественный, по способам обработки – на автоматизированный, статистический и анализ временных рядов.

## **13. КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЛЕСОВ**

### **13.1. Характеристики космических систем**

Французская космическая система *SPOT*. Согласно программе SPOT первый запуск ИСЗ был осуществлен в феврале 1986 г.. Орбита солнечно-синхронная, высота полета от 815 до 829 км. Наклонение орбиты к плоскости экватора  $98,7^\circ$ , период обращения 101 мин. Отличительная особенность – сканерные снимки, следовательно, высокое разрешение.

SPOT оснащен усовершенствованными оптикоэлектронными камерами HRVIR, широкоугольной камерой Vegetation, а также экспериментальным прибором POAM-3.

Основные характеристики камеры HRVIR следующие: съемка в многозональном или панхроматическом варианте (в спектральных диапазонах 0,50–0,59; 0,61–0,69; 0,80–0,91 мкм с элементом разложения 20 м, в зоне 0,5–0,9 мкм – 10 м), пространственное разрешение 10×10 м. Ширина полосы съемки 60–80 км.. Нарезка кадров 60×60 км.

При нормальном (штатном) положении два сканирующих устройства, установленные на ИСЗ SPOT, обзеревают земную поверхность в полосе 116 км с перекрытием 4 км.

Поворотное устройство позволяет сместить полосу обзора в бок на 400 км и произвести съемку одной и той же территории с двух витков последовательных суток. Срок активного существования ИСЗ SPOT не менее двух лет.

Запуск очередных спутников второго поколения SPOT-5 и SPOT-6 был запланирован на 2002 и 2007 гг. соответственно.

В состав наземного сегмента системы SPOT:

1. Центр управления в Тулузе (Франция), обеспечивающий функционирование ИСЗ на орбите, перепрограммирование бортовой аппаратуры, прием и предварительную обработку информации ДЗЗ.
2. Две наземные станции приема информации ДЗЗ: станция SRIS-T в Aussaguel (Франция) и станция SRIS-K в Kiruna (Швеция).
3. Наземная станция SRIP в Тулузе, обеспечивающая прием информации дистанционного зондирования через геостационарный ИСЗ Artemis с использованием оборудования PASTEL.
4. Центр предварительной обработки и архивирования данных в Тулузе APC, обеспечивающий выполнение заявок информации ДЗЗ.
5. Центр предварительной обработки данных CRIS-K в Kiruna.
6. Станции непосредственного приема информации SDRS, обеспечивающие прием только информации PMB.
7. Организация Spot Image и ее филиалы, ответственные за коммерческое использование космической информации ДЗЗ.

Область приема каждой из двух главных станций охватывает зону радиусом 2,5 тыс. км. Обработка результатов ДЗЗ осуществляется с использованием программного обеспечения, разработанного фирмами MS2I, Marta Marconi Space и Marconi Research Center.

Стоимость изображения  $1 \text{ км}^2$  земной поверхности у фирмы Spot Image, занимающейся коммерческим распространением снимков с ИСЗ Spot, составляет 0,68 долл.

Системы съемки спутников типа LANDSAT . Съемочные системы этой серии основаны на использовании сканирующих устройств –мультиспектрального сканера (MCC) и тематического картографа (TM). Первый запуск – 16 июля 1982 г. Орбита- солнечно-синхронная, наклон к плоскости экватора –  $98,2^\circ$ , при высоте 705 км. Съемка территории от  $82^\circ$  северной широты до  $82^\circ$  южной. Повторяемость съемки – 16 дней.

Информация со спутников LANDSAT передается через геостационарный спутник на приемную наземную станцию, откуда поступает на другой геостационарный спутник. Этот ИСЗ ведет передачу в Годдардовский центр приема и обработки данных. Из него информация поступает в центр данных.

Дополнительно в систему LANDSAT входят навигационные ИСЗ GPS для обеспечения управления спутниками LANDSAT. Уточненные данные о положении и скорости LANDSAT используются на борту и передаются на землю для геометрических коррекций снимков. Столь сложная система обеспечивает передачу информации с любой точки Земли практически в реальном времени. Существуют 16 наземных станций, связанных с LANDSAT.

*Мультиспектральное сканирующее устройство (МСС).* Ширина захвата – 185 км. Масштаб 1/400 000, разрешение – 80 м; используемые спектральные диапазоны: 0,49–0,605 мкм (зеленый), 0,603–0,698 мкм (красный), 0,701–0,813 мкм (красный ближний ИК), 0,808–1,023 мкм (ближний ИК); радиометрическое разрешение – 64 уровня

*Тематический картограф (ТМ).* Зоны спектра: синий, зеленый, красный, ближний инфракрасный, инфракрасный, тепловой. Разрешение на местности 30 м, масштаб 1/150 000 и 1/600, радиометрическое разрешение – 256 уровней; абсолютная радиометрическая точность – 10%; ширина полосы обзора – 185 км. ТМ предназначен для картографирования растительности. С учетом этого и определены спектральные диапазоны.

Наземный сегмент системы включает в себя:

1. Центр управления SOCC, обеспечивающий планирование работы бортовой аппаратуры, а также обработку данных ДЗЗ.
2. Станции управления космическими аппаратами, находящиеся в Norman (шт. Оклахома) и Gilmer.
3. Центры приема заявок от потребителей и обработки поступающих данных ДЗЗ, находящиеся в Центре им. Годдарда.
4. Станции сбора данных на территории США и зарубежные приемные станции.
5. Центр приема и учета данных ДЗЗ, полученных системой LANDSAT, EROS Data Center (Sioux Falls, шт. Южная Дакота).

Оборудование типовой приемной станции, на примере станции SAFRS, включает систему DAS сбора данных, систему DPS обработки данных, лабораторию PPL для получения и обработки снимков.

Расходы на создание и эксплуатацию зарубежной наземной станции оцениваются следующим образом: стоимость постройки: 4–7 млн. долл.; ежегодные расходы на эксплуатацию: 1–2 млн. долл.; ежегодный членский взнос – 500 тыс. долл. (с 1992 г.).

Потребители данных, поступающих с ИСЗ LANDSAT, заказывают требуемые изображения через фирму EOSAT. Срок исполнения заказа составляет при этом от одной до семи недель, в зависимости от требований заказчика. Стоимость изображения 1 км<sup>2</sup> земной поверхности у фирмы EOSAT составляет в среднем 0,14 долл.

Российские космические аппараты серии «Ресурс-О» оснащаются аппаратурой высокого и среднего разрешения, обеспечивающей съемку поверхности Земли в нескольких спектральных диапазонах. В настоящее время информационные возможности «Ресурс-О» сопоставимы с возможностями американской системы ДЗЗ LANDSAT.

Орбитальный сегмент системы состоит из одного космического аппарата, находящегося в оперативном использовании. Спутники серии «Ресурс-О» выполняются на базе платформы космического аппарата «Метеор-З». В состав бортового информационного комплекса входят бортовая измерительная аппаратура (БИА) и бортовая информационная система (БИС).

В свою очередь, БИА включает: моноблок из двух многозональных оптикоэлектронных сканирующих устройств высокого разрешения МСУ-Э, установленных на общей поворотной платформе; два комплекта многозонального оптико-механического сканирующего устройства среднего разрешения с конической разверткой МСУ-СК.

Камера МСУ-Э имеет 2 видимых и 1 инфракрасный рабочие диапазоны; пространственное разрешение 45 м × 34 м; радиометрическая точность – 256 уровней квантования сигнала; ширина полосы – 45 км; угол отклонения сектора обзора в направлении, перпендикулярном трассе ИСЗ: ±30°.

Многозональное сканирующее устройство среднего разрешения МСУ-СК обеспечивает дистанционное определение температуры подстилающей поверхности по измерениям уходящего ИК-излучения в окне прозрачности атмосферы. Устройство МСУ-СК имеет рабочие диапазоны видимые и ближние ИК-участки спектра и тепловой ПК-участок; пространственное разрешение – 140 м × 550 м; радиометрическая точность – 256 уровней; ширина полосы обзора – 600 км.

Прием и регистрация данных дистанционного зондирования, передаваемых космическими аппаратами серии «Ресурс-О»,

осуществляется при помощи персональных станций приема информации ДЗЗ.

Работы по программе ERS (European Remote Sensing satellite) начаты Европейским космическим агентством ESA в 1981 г.

В состав орбитального сегмента системы ERS входит один ИСЗ на круговой солнечно-синхронной орбите. На ERS-1 были использованы аппаратура микроволнового зондирования, радиолокационный высотомер RA, а также экспериментальный комплекс ATSR, в состав которого входят сканирующий радиометр и устройство микроволнового зондирования.

АМІ имеет следующие характеристики: ширина спектра излучаемых сигналов –  $15,5 \pm 0,06$  МГц; пространственное разрешение – 30 м; точность определения высоты наземных объектов при интерферометрических измерениях – 10 м; радиометрическое разрешение – 1–2,5 дБ; ширина полосы сканирования – 100 км.

В состав приборов дистанционного зондирования, а также аппаратуры приема и ретрансляции данных, устанавливаемой на существующих спутниках системы NOAA входят радиометр AVHR/2 и инфракрасный зонд высокого разрешения HIRS/2.

Радиометр дважды в сутки обеспечивает съемку практически всей поверхности Земли и имеет следующие характеристики: рабочие диапазоны 0,58–0,68, 0,725–1,1, 3,55–3,93, 10,3–11,3, 11,4–12,4 мкм; пространственное разрешение – 1,1 км; ширина полосы обзора около 3 000 км; угол обзора –  $\pm 55,4^\circ$  от направления в надир; частота вращения сканирующего зеркала – 360 об/мин.

Инфракрасный зонд высокого разрешения HIRS/2 обеспечивает пошаговую съемку поверхности Земли в направлении поперек трассы ИСЗ.

Зонд имеет следующие основные характеристики: число спектральных каналов – 20; ширина полосы обзора – 2240 км; угол обзора –  $\pm 49,5^\circ$  от направления в надир; продолжительность полного сканирования – 6,4 с; расстояние между двумя сканами вдоль трассы – 42 км. Передача информации со спутников серии NOAA осуществляется в режиме реального времени в дециметровом и метровом диапазонах волн.

Данные передаются постоянно и могут быть получены практически в любой точке земного шара при использовании соответствующего приемного оборудования.

Космический комплекс «Ресурс-ДК» предназначен для

- получения в масштабе времени, близком к реальному, высокоинформативных изображений в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне спектра электромагнитного излучения;

- обеспечения различных направлений хозяйственной и научной деятельности: экологического мониторинга, рационального природопользования;

- оценки последствий чрезвычайных ситуаций и катастроф;

- тематического картографирования и обеспечения региональных потребителей информацией дистанционного зондирования поверхности Земли высокого разрешения (1,7–4 м).

«Ресурс-ДК»" имеет следующие технические характеристики: разрешение – 1,8 м; полоса захвата – 48,5 км; полоса обзора – 768 км; САС – 2 г.

Космические аппараты системы «Метеор» предназначены для получения глобальных изображений облачности и подстилающей поверхности в видимом и инфракрасном диапазонах спектра, получения глобальных данных о вертикальном профиле температуры, непрерывного наблюдения за потоками проникающих излучений в околоземном космическом пространстве.

Космические аппараты «Метеор» третьего поколения выводятся на типовую орбиту высотой 1200 км. Перечень аппаратуры дистанционного зондирования, устанавливаемой на современных спутниках серии «Метеор»:

- спектрометр инфракрасного диапазона 174-К;

- спектрометр ультрафиолетового диапазона БУФС-4;

- камера КГИ-4 для исследования электромагнитного излучения;

- аппаратура «Климат», МИВЗА и МЗОАС обеспечивает определение влажности атмосферы, радиометры МР-2000 и МР;

- многоспектральный радиометр МСР предназначен для построения изображений поверхности Земли в видимом, ближнем ИК и тепловых ИК диапазонах;

- сканер ScaRab используется для изучения радиационного баланса Земли;

- спектрометр картирования озонового слоя.

В 2003 г. Национальной академией наук Беларуси разработана концепция Белорусской космической системы дистанционного зондирования Земли (БКСДЗ).

Концепция подготовлена с учетом анализа тенденций развития космической деятельности стран мирового сообщества, возможностей научно-промышленного потенциала Республики Беларусь, необходимости развития космических информационных технологий для решения экономических и социальных задач нашего государства.

Предложен проект по созданию БКСДЗ. БКСДЗ будет содержать наземный и космический сегменты. В составе наземного сегмента БКСДЗ должны быть имеющиеся в настоящее время в республике средства приема, хранения и обработки спутниковой информации дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с созданием недостающих систем и комплексов и развитием функциональных возможностей уже имеющихся технических, программных и информационных ресурсов ДЗЗ.

Для получения и использования информации ДЗЗ высокого разрешения, которая в настоящее время в республику не поступает, и её эффективного использования в интересах нашего государства в состав космического сегмента БКСДЗ будет включен белорусский космический аппарат ДЗЗ – БелКА, который создается предприятиями Российского авиационно-космического агентства с участием белорусских предприятий.

Стратегической целью проекта является создание и внедрение в повседневную практическую деятельность Республики Беларусь современных методов и средств государственного управления и хозяйственной деятельности, базирующихся на широком использовании данных дистанционного зондирования Земли и геоинформационных технологий.

Успешная реализация проекта создания и эксплуатации БКСДЗ позволит Республике Беларусь: выйти на международный рынок данных ДЗЗ высокого разрешения, расширить свои возможности на международном рынке аппаратуры дистанционного зондирования Земли из космоса и на рынках геоинформационных технологий и систем.

Проект позволит обеспечить необходимой информацией специалистов в области геодезии и картографии, контроля за окружающей средой и многих других. Значительно расширится поток сведений, повысится их качество.

БелКА относительно небольшой, уникальный по конструкции космический спутник. Его электронно-оптическая начинка предполагается в несколько раз меньше и легче зарубежных аналогов.



Это значит, что запуск спутника на орбиту высотой около 500 километров обойдется существенно дешевле. Он сможет отчетливо фиксировать на Земле даже предметы размером в несколько метров и в течение 10 мин. передавать нам изображение.

Спутник обойдется недешево, однако отказ от новейших информационных технологий, лишь частью которых является БелКА, обойдется народному хозяйству многократно дороже. Конечно, информацию можно получить и с иностранных спутников, ведь станции приема, как уже говорилось, в Минске есть. Однако стоят такие услуги дорого – от нескольких сотен тысяч до миллионов долларов в год. В Минске работают три станции, принимающие информацию с американских и российского спутников. Но графическое разрешение получаемых материалов составляет 1,1 км, в лучшем случае – 30 м.

БелКА будет выдавать космические снимки с разрешением в 2,5 метра. Это будет суперлегкий космический аппарат: его вес не превысит 200 килограммов. Период обращения вокруг Земли составит 95 минут; если учесть скорость вращения самой нашей планеты, то получится, что БелКА будет делать 15 витков в течение суток.

Запуск запланирован с космодрома Байконур на конец 2005 года. Аппарат должен эффективно работать на орбите минимум 5 лет. Если информацию, получаемую со спутника, удастся продавать за рубеж по ценам даже ниже рыночных, то стоимость БелКА окупится примерно за 7 лет.

### **13.2. Характеристики фотосъемочной аппаратуры**

При космической фотосъемке используют системы высокого и низкого разрешения. Наиболее высокое разрешение деталей местности обеспечивают фотографические камеры, устанавливаемые на ИСЗ серии «Ресурс-Ф», используются съемочные космические системы КАТЭ-200, КФА-1000, КФА-3000 и МК-4 (табл.3).

Основным оборудованием на борту ИСЗ серии «Космос», топографическом комплексе «Комета» служат топографическая камера ТК-350 и камера высокого разрешения КВР-1000. Эти камеры используются для получения новых данных, а снимки, сделанные ими в процессе предыдущих запусков, хранятся в архивах.

Таблица 3

#### **Технические характеристики съемочных космических систем**

Характеристики	КФА-1000	КАТЭ-200	МК-4	КФА-3000
Количество камер	2	3	1	2
Полоса захвата, км	0,58	0,9	0,6	0,2
Фокусное расстояние, мм	1000	200	300	3000
Размер кадра, мм	300×300	180×180	180×180	300×300
Число диапазонов	1	3	4 – 6	1
Спектральный диапазон, нм	570 – 760	600 – 700	400 – 700	570 – 760
Масштаб снимков	1/1000	1/5000	1/3333	1/3333
Разрешение на местности, м	6 – 10	15 – 30	12 – 20	2 – 3
Перекрытие, %	60	60	60	5

Эти камеры используются для получения новых данных, а снимки, сделанные ими в процессе предыдущих запусков, хранятся в архивах. В настоящее время пользователям предлагаются оцифрованные прецизионным сканером фотоизображения поверхности Земли, полученные ТК-350 и КВР-1000.

Камеры обычно находятся в полете вместе, смонтированы на борту одного спутника. Совместное использование материалов съемки вместе с набором калибровочных и навигационных параметров позволяет снимки ТК-350 увеличивать до масштаба 1:50 000, а снимки КВР-1000 до 1:10 000 без заметной потери качества.

Оцифрованные одиночные изображения могут обрабатываться с помощью специального программного обеспечения, а по стереопарам методами цифровой фотограмметрии могут быть получены ортоснимки. Эта информация может служить основой для построения.

Видом поставляемой продукции являются негативы, позитивы на фотопленке, фотобумаге, цифровые записи на магнитных лентах и дисках, возможна дополнительная обработка данных и трансформирование снимков в картографические проекции и тематическая обработка снимков.

### **13.3. Технология фотограмметрической съемки из космоса**

При фотограмметрической съемке из космоса используют технологию аэрофотосъемки, однако с рядом особенностей.

Космические носители, с установленной на них съемочной аппаратурой, перемещаются по круговым или эллиптическим орбитам, параметры которых можно определить с более высокой точностью в отличие от траектории самолета. Высота космического аппарата во время съемок определяет масштаб снимков. Она не может быть менее 100 км из-за существенного сопротивления атмосферы. Спутник может перемещаться над поверхностью Земли или находиться на геостационарной орбите. В последнем случае он как бы висит над определенной точкой земной поверхности. Это обусловлено совпадением периода его обращения с земными сутками.

Наиболее распространены орбиты высотой 300, 600, 900 км, период обращения по которым близок к 90 мин.

Для круговых орбит расстояние спутника до центра Земли постоянно. Для эллиптических орбит оно изменяется от минимального в перигее до максимального. Важной характеристикой орбиты является и ее наклонение к плоскости земного экватора. Если угол между плоскостью экватора и плоскостью орбиты равен 0, то орбиту называют экваториальной; если он составляет 90 градусов, то орбиту называют полярной. Промежуточное положение занимают наклонные орбиты.

*Трассой* спутника называют проекцию орбиты на земную поверхность. Трасса не может подняться в более высокие широты, чем угол наклона орбиты.

Изомаршрутной трассой называют трассу, у которой следы орбит ежедневно проходят по одним и тем же районам Земли, что позволяет обеспечить периодичность наблюдения одного и того же объекта. Для получения снимков при постоянных условиях освещенности объектов вдоль трассы используют солнечно-синхронные орбиты.

В связи с возможностью появления спутника над одной и той же частью земной поверхности вводят понятие повторяемости съемки. Снимки, получаемые с космических носителей, можно разделить на три группы в зависимости от повторяемости съемки:

- периодически повторяемая съемка;
- периодическая, ограниченно регулируемая съемка;
- регулируемая съемка.

Период съемки (повторяемость) лежит в пределах от 10 мин до 16–18 сут. Периодически повторяемая съемка выполняется со всех метеорологических спутников, работающих как на геостационарных,

так и на околоземных орбитах, а также с ресурсных спутников. Период повторения зависит от орбиты. Орбита рассчитывается так, чтобы обеспечить заданный период повторения съемки. Период повторения съемки обычно устанавливается для спутника на весь срок его работы.

Периодическая, ограниченно регулируемая съемка выполняется с космических носителей, если она обеспечивает малый территориальный охват. На таких носителях предусматривается возможность отклонения полосы съемки трассы, что обеспечивает более частое повторение съемок.

Регулируемая съемка выполняется с космических носителей, запускаемых на короткое время, а также с космических аппаратов для съемки других планет.

Периодически повторяемые внутрисуточные снимки получают с геостационарных спутников. Их передают по радиоканалам с интервалом 20–30 мин. Примером может служить съемка с метеорологических спутников «Метеосат». Ежесуточная съемка выполняется со всех метеорологических спутников, обеспечивающих за сутки полный обзор земной поверхности (с русских спутников «Метеор», американских НОАА).

Регулируемые съемки могут выполняться с ежесуточным повторением или многократно в течение года в разные сезоны, а также через год или несколько лет. Возможность регулирования и выбора срока съемки с борта орбитальной станции максимальная.

Космические съемки, как и аэрофотосъемку, по технологии подразделяют на одиночные, маршрутные и площадные. Принято классифицировать космическую съемку так же по масштабу, обзорности, разрешению и детальности (табл. 4).

Таблица 4

#### Классификация космической съемки по детальности

Снимок по детальности	Разрешающая способность, мм <sup>-1</sup>	Величина разрешения в масштабе снимка, мм	Число элементов изображения в 1мм <sup>2</sup> снимка	Оптимальное увеличение снимка
-----------------------	---	---	---	-------------------------------

Малой	<5	>0,1	<25	1
Средней	5 – 10	0,05 – 0,1	25 – 100	2
Большой	10 – 25	0,02 – 0,05	100 – 500	2 – 5
Очень большой	25 – 50	0,0 – 0,02	500 – 2500	5 – 10

### 13.4. Дешифрирование космических снимков

При стереоскопическом рассмотрении КС не воспринимаются высоты деревьев, форма и размеры крон, тени и другие особенности. Поэтому в качестве прямых дешифровочных признаков используются цвет и рисунок изображения, косвенных – ландшафтные признаки.

На цветных увеличенных (в 2–5–10 раз) КС хорошо заметны минимальные площади – выдела (не менее 15 га), границы лесов, нелесных и не покрытых лесом категорий земель (пашни, болота, озера, реки, вырубки, гари и т.д. не менее 15 га).

На основе различия в цвете, оттенках и особенностях рисунка изображения покрытые лесом площади можно разделить по породам или группам преобладающих пород. Преобладающие породы определяются по цвету их изображения на космических снимках и приуроченности к определенным местам произрастания, цветовая гамма при этом аналогична спектрозональным аэрофотоснимкам. Полнота и группы возраста дешифрируются на основе особенностей рисунка изображения и просматриваемости полога в глубину. Остальные показатели определяются на основе взаимосвязей.

Автоматизированное дешифрирование основано на определенной последовательности операций, приема и ввода космических снимков, их обработки, привязки к тематической цифровой или растровой карте, выделения и обработки эталонно-калибровочных участков (ЭКУ), выделения исследуемых участков и объектов на снимке и нанесения их на карту. При этом производятся следующие основные работы и операции: оценка качества космических снимков, определение их пригодности для обработки; оценка помех и искажений при приеме изображений, облачности, возможности различить объекты в отдельных спектральных каналах, а также то, насколько космический снимок покрывает интересующий район исследования.

Точные значения параметров обработки оператором-дешифровщиком выбираются индивидуально и в основном зависят от

условий съемки, качества космоснимка и индивидуальных особенностей оператора-дешифровщика. Космический снимок и карта загружаются в картографический редактор цифровой тематической карты (ЦТК) по космоснимку. На снимке выделяются опорные объекты и ЭКУ.

По выделенным ЭКУ производится автоматический расчет их характеристик, а затем на основе попиксельного анализа – выделение на всем снимке лесных объектов, аналогичных им.

Выявленные аналогичные лесные объекты наносятся на ЦТК, а их характеристики заносятся в базу данных. Результаты обработки космоснимков в виде оперативной тематической карты с количественным и качественным описанием отдешифрированных объектов лесонасаждений в последующем необходимо использовать в системе ГИС «Лесные ресурсы» с целью их учета при обработке и оценки текущих изменений лесного фонда.

При проведении работ выполняются следующие функции:

- анализ космического изображения;
- создание эталонных классов; классификация исходного изображения в соответствии с выбранными эталонными классами; создание тематической план-схемы в рамках системы Khoros.

В результате обработки исходного космического изображения лесного покрова по двум указанным алгоритмам получаются тематические схемы-планы сегментированного изображения, в которых различаются 6 яркостных значений для черно-белого изображения, или 6 цветовых значений.

Завершающим этапом всего технологического процесса дешифрирования насаждений является создание тематических карт. Изображение, полученное на этапе автоматизированного дешифрирования, трансформируется по опорным точкам топоосновы и совмещается путем наложения снимка на карту. В результате формируется новое изображение. Таким образом, создается новая тематическая карта древесной породы той или иной группы возраста или обновляется уже имеющаяся. Наносятся новые объекты или уточняются старые, заполняется атрибутивная информация.

Определяющее значение в качестве признака дешифрирования имеет цвет, фиксирующий различия спектральной отражательной и излучательной способности древесных пород. Цвет также является наиболее информативным признаком дешифрирования космической информации, передающим в спектральных яркостях различия лесных

объектов. При визуальном сравнении снимков можно наблюдать различие между хвойной и лиственной породой.

Целью автоматизации является повышение производительности обработки, увеличение точности и объективности получения результатов. Для этого разработана программа MaskEdit, предназначенная для спектральной обработки графических файлов с материалами дистанционных съемок с ИСЗ «Ресурс-0».

Важное значение имеет и оперативность получения информации. Наиболее оперативно может быть получена информация лишь на основе применения сканирующих или фотографических систем.

Сравнительный анализ данных лесоустройства и материалов, полученных на основе визуального и автоматизированного дешифрирования космических снимков, показывает, что результаты дешифрирования насаждений по группам возраста имеют достоверность в пределах 70%.

## **14. ОБРАБОТКА ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

### **14.1. Системы обработки данных дистанционного зондирования**

ДДЗ – это огромные объемы файлов, для эффективной работы с которыми необходимы специальные средства, в том числе специальные форматы данных, более сложные, чем простой. Так, снимок SPOT PAN при захвате площади 60х60 км и размере пикселя 10 м на местности будет иметь объем файла примерно 35 Мбайт. Полный снимок камеры МК-4 (ч/б) в цифровом виде при разрешении пикселя 6 м на местности будет иметь объем примерно 380 Мбайт, снимок КФА-1000 при разрешении 5м – примерно 200 Мбайт. При

цветном или трехканальном (зональном) представлении – соответственно в 3 раза больше. Полный оцифрованный снимок камеры KBP-1000 при его наилучшем разрешении на местности 2 м требует 1,5 Гбайта машинной памяти. Среди специализированных систем обработки данных дистанционного зондирования можно выделить 4–5 мощных универсальных систем, среди которых лидерами являются системы ERDAS (США) и ER Mapper (Австралия).

ERDAS (ERDAS Imagine) версия 8.2 работает на многих платформах – Windows 95, Windows NT–Intel, BSC/UNIX [15]. Характерной особенностью системы является то, что многие фирмы оформляют свои разработки как модули расширения системы ERDAS Imagine. Существует два варианта базового комплекта – Imagine Vista и Imagine Production )(табл. 5). В Vista имеются средства для просмотра снимков, импорта–экспорта, преобразований изображения, выполняемых в режиме «на лету», а также средства подготовки оформленных твердых копий и некоторые утилиты. Production, помимо этого, содержит богатый набор средств для обработки изображения и пространственного анализа на базе растровой модели ГИС, процедуры классификаций, средства привязки и трансформирования изображений. Есть утилита для построения мозаики из нескольких изображений, сливающая их в один файл.

ERDAS Imagine обладает всеми средствами для работы с аэро- и космическими изображениями во всех возможных областях их применения. Включает базовый комплект и модули расширения. Позволяет:



Таблица 5

**Характеристики системы обработки данных дистанционного зондирования**

Системы обработки ДДЗ	Совместимость	Комплектация, поддерживаемые форматы данных	Основные функции
ERDAS Imagine	Windows 95, Windows NT–Intel, BSC/UNIX	Imagine Vista  Imagine Production	просмотр снимков, импорт–экспорт, преобразование изображения, подготовка оформленных твердых копий, обработка изображения и пространственный анализ на базе растровой модели ГИС, процедура классификаций, средства привязки и трансформирования изображений, построение мозаики из нескольких изображений, сливающей их в один файл
EASI/ PACE	MS DOS, Windows 95, Windows NT	ImageWorks, GCP Works, Geometric Correction, Vector Utilities, GIS Links, Multilayer Model- ling, Frequency Transforms	геометрическая коррекция, поддержка более 20 картографических проекций, атмосферная коррекция, обработка стереопар, анализ рельефа, обработка изображений включает: сшивку растра, наложения, фильтрации, выделение границ; концепция GDB позволяет работать с файлами внешних форматов, распознавание объектов по уникальным интенсивностям спектра изображений
TNTmips	Windows 95, Windows NT	TNTsdk	контрастирование и фильтрация в режиме предварительного просмотра, вывод графики, возможность остановки операции

Окончание табл. 5

Системы обработки и ДДЗ	Совместимость	Комплектация, поддерживаемые форматы данных	Основные функции
ENVI	Windows 95, Windows NT	Поддерживает форматы ERDAS 8.x, SPOT, RadarSat, Windows .bmp	переход без конвертации в форматы других ГИС и пакетов обработки изображений, большое число картографических проекций и координатных систем, в том числе Гаусса–Крюгера, создание мозаики из снимков с различным пространственным разрешением, сшивка вдоль любого контура
DATRON/TRANSCO	Windows 95, Windows NT	VI2STA, поддерживает форматы ARC/INFO, AutoCAD, grph, Image, TIFF, ERDAS	радио- и геометрическая коррекция, классификация и пространственное моделирование, фильтрация, работа с векторными данными, поддержка ГИС, генерация отчетов, обработка более 20 картографических проекций с возможностью их преобразования
IDRISI Project	Windows	TOSCA, форматы ARC/INFO; ERDAS (LAN и GIS), TIFF, BMP, SPOT, LANDSAT	анализ пространственно-распределенной информации, обработка ДДЗ, тематическое дешифрирование методами автоматической и полуавтоматической классификации, анализ растровых карт, русскоязычный интерфейс и контекстная справка на русском языке
SMARTech	Windows NT, Windows 95 и UNIX	MET, HRPT, форматы ERDAS Imagine	прием и обработка данных с метеорологических спутников NOAA, GOES, METEOSAT и др., предназначен для обработки данных AVHRR со спутника NOAA для ГИС

- улучшать качество и повышать точность изображения,
- трансформировать снимки,
- привязывать снимки друг к другу,
- классифицировать объекты,
- отфильтровывать "шумы",
- синтезировать мультиспектральные изображения,
- одновременно анализировать растровую и векторную информацию,
- создавать высококачественные профессионально оформленные карты и многое другое.

Работает на ПК с ОС Windows NT, Win-dows 95 и на UNIX рабочих станциях.

EASI/PACE – канадская компания, существующая с 1982 г. Основной полнофункциональный продукт EASI/PACE Image Processing работает на большинстве UNIX-платформ, была также версия под MS DOS, Windows 95, Windows NT.

В составе пакета модули ImageWorks, GCPWorks, Xpace, Kernel, Image Processing, Geometric Correction, Vector Utilities, GIS Links, Multilayer Modelling, Frequency Transforms, обеспечивающие геометрическую коррекцию, поддержку более 20 картографических проекций, атмосферную коррекцию, обработку стереопар, анализ рельефа.

Модули можно приобретать отдельно, что делает первоначальные затраты весьма доступными.

Обработка изображений включает:

- сшивку растра,
- наложения,
- фильтрации,
- выделение границ,
- оттенение и пр.

Модуль-пакет многоспектрального анализа включает распознавание объектов по уникальным интенсивностям спектра изображений. Одной из наиболее интересных особенностей является концепция GDB, позволяющая ряду программ пакета работать непосредственно с файлами внешних форматов.

TNTmips (Microlmages Inc.) версии 5.3 является пакетом обработки изображений, которому присущи черты ГИС, CAD и системы управления пространственными базами данных. Средство разработчика TNTsdk делает его достаточно привлекательным для

разработчиков приложений. Хотя некоторые операции (контрастирование и фильтрация) могут быть выполнены в памяти или режиме предварительного просмотра. Большинство операций требует записи файла на диск. Вывод графики быстрый и есть возможность остановки операции.

ENVI (от Research Systems) является развитой системой обработки изображений ДДЗ, которая может анализировать и визуализировать данные.

ENVI не имеет собственного формата. Поэтому растровые данные ENVI можно использовать без конвертации в форматы других ГИС и пакетов обработки изображений, которые поддерживают соответствующий формат файла заголовка. Это удобное свойство для системы обработки снимков, учитывая большие размеры файлов изображений. ENVI 2.5 поддерживает много растровых форматов данных, включая ERDAS 8.x, SPOT, RadarSat, Windows .bmp и др.

Векторное обеспечение ENVI достаточно для решения большинства задач дистанционного зондирования, связанных с обработкой космоснимков.

Пакет поддерживает большое число картографических проекций и координатных систем, в том числе широко используемую в России проекцию Гаусса–Крюгера. ENVI позволяет создавать мозаику из снимков с различным пространственным разрешением. Сшивка изображений может идти вдоль любого выделенного контура (например, дорога, река и т. д.).

DATRON/TRANSCO (США). Текущая версия 2.1. Назначение: VI2STA представляет собой пакет прикладных программ для обработки данных дистанционного зондирования. VI2STA создана для удовлетворения потребностей профессионалов в управлении ресурсами земли, метеорологии и экологическом мониторинге, землепользовании, медицине. Имеется свыше 300 функций (алгоритмов), включая радио- и геометрическую коррекцию, классификации, пространственное моделирование, фильтрацию, работу с векторными данными, поддержку ГИС, генерацию отчетов.

Форматы обмена данными: графические векторные – ARC/INFO, AutoCAD, grph (собственный формат пакета), графические растровые – Image, TIFF, ERDAS и др. Поддерживается более 20 картографических проекций с возможностью их преобразования.

IDRISI Project (Clark University) – программный пакет для персональных компьютеров, предназначенный для анализа пространственно-распределенной информации, получаемой из различных источников. Программный пакет на платформе Windows. В состав пакета входит блок обработки ДДЗ, включающий возможности как общей обработки снимков, так и тематического дешифрирования методами автоматической и полуавтоматической классификации.

Помимо функций обработки ДДЗ, в состав пакета входит мощный модуль анализа растровых карт, в том числе построенных на основании результатов обработки ДДЗ.

В комплект поставки входит векторный редактор TOSCA, поддерживающий широкий спектр дигитайзеров, для ввода данных с бумажных носителей. Форматы данных для импорта–экспорта: векторные – ARC/INFO; растровые – ERDAS (LAN и GIS), TIFF, BMP, SPOT, LANDSAT, др.

IDRISI – единственный зарубежный пакет обработки ДДЗ для IBM PC с русскоязычным интерфейсом и контекстной справкой на русском языке. Оставаясь очень простым в освоении, пакет IDRISI в настоящее время находит широкое применение в небольших по объему обработки ДДЗ проектах в основном научно-практического характера.

SMARTech (MET, HRPT) – американская фирма, известная в первую очередь станциями для приема данных с метеорологических спутников NOAA, GOES, METEOSAT и др. Помимо программного обеспечения для управления приемом, имеются также модули MET и HRPT для обработки данных с этих спутников, реализованные как модули расширения к системе ERDAS Imagine. Для ГИС наиболее интересен модуль HRPT, предназначенный для обработки данных AVHRR со спутника NOAA. Работает на платформах Windows NT, Windows 95 и UNIX.

E-Systems (E-Star) – ПО разработано первоначально для военного применения и ориентировано на работу с материалами аэрофотосъемки и с данными с космических цифровых систем высокого и сверхвысокого разрешения. Рассчитанное на работу на суперкомпьютерах, оно способно обрабатывать огромное количество поступающей информации в оперативном режиме.

Программа LESSA находит на изображении и анализирует линейные элементы, как это принято в геологических и сейсмических исследованиях. Интерфейс очень прост, структурирован и предельно

понятен. Фактически пакет автоматизирует процедуры структурного дешифрования.

## **14.2. Программные средства управления станцией ЕОСКАН**

Станция ЕОСКАН предназначена для приема информации, передаваемой с радиометра MODIS со спутника EOS-AM (второе название – TERRA). Станция базируется на IBM-совместимых ПЭВМ и полностью управляется программой.

EOScan Receiver – приложение MS-Windows 98, предназначенное для управления станцией ЕОСКАН, а также распаковки, отображения и записи принимаемых станцией данных. Приложение выполняет следующие основные функции:

- расчет расписания прохождения спутника через зону видимости приемной станции в заданном интервале времени;
- расчет траектории спутника для управления антенной;
- управление антенной в соответствии с траекторией;
- управление вводом данных в ПЭВМ;
- кадровая синхронизация данных, их декодирование, запись на жесткий диск и частичное отображение на дисплее;
- индикация состояния антенны и потока данных.

Приложение EOScan Receiver не предъявляет к параметрам ПЭВМ каких-либо дополнительных требований по сравнению с теми, которые предъявляются самой операционной системой Windows 98.

Прием данных может проводиться только со спутников из списка, занесенного в приложение. Пользователь имеет возможность вносить изменения в этот список. Каждый спутник в списке описывается именем и режимом работы.

Данная версия приложения допускает прием информации со спутника EOS-AM (TERRA). Основные характеристики:

*Орбитальные элементы* – это набор параметров орбиты спутника, позволяющий рассчитать его положение в произвольный момент времени. В данном случае для расчета расписания приема и целеуказания антенны.

*Виток* – это участок траектории спутника, на котором он находится в зоне видимости приемной станции.

*Расписание* – это составленный в хронологическом порядке перечень витков на заданный пользователем интервал времени. Каждый виток в расписании описывается: именем спутника, номером

витка, датой начала витка (день, месяц, год), временем начала, кульминации и конца витка (т.е. выхода спутника из-за горизонта, высшей точки над горизонтом и ухода за горизонт; часы, минуты, секунды), углом возвышения спутника над горизонтом в кульминации ( в градусах), азимутом на спутник в начале, в кульминации и в конце витка (в градусах).

*Целеуказанием* называется совокупность значений азимут – угол места, которым задается требуемая в данный момент времени ориентация антенны.

Информационный поток можно условно разделить на понятия: паке, группа, скан, кадр, синхронизация, изображение.

Выходные данные радиометра MODIS и вспомогательные данные делятся на блоки, пакеты. Каждый содержит начало пакета, служебную информацию и определенный объем данных. Пакеты объединяются в группы, которые в зависимости от содержания могут быть *научными дневными, научными ночными и инженерными*. Изображение содержится в дневных группах в 36 спектральных каналах, в ночных с 20-го по 36-ой канал. Размер участка 1×10 км – участок – скан.

На борту спутника пакеты данных перепакуются в кадры. Размер кадра 1024 байта. Поток данных сначала кодируется, после передачи декодирование выполняется в аппаратной части приемной станции. Распаковка кадров и восстановление пакетов выполняется программно в темпе приема. Выходной поток записывается как последовательность пакетов.

Изображением называются данные, которые в процессе приема выводятся на дисплей ПЭВМ в уровнях серого тона.

EOScan Receiver работает со следующими файлами: файл орбитальных элементов, файл расписания (имя спутника, номер витка, дата, время начала, азимут в начале, время кульминации, азимут в кульминации, угол места в кульминации, время окончания, азимут в конце), файл данных ( данные телеметрии).

Главное окно приложения включает в себя окно расписания, окно изображения, окно графического отображения сопровождения (окно траектории), главное меню, панель управления, левую и правую информационные панели.

Станция ЕОСКАН поставляется с установочным диском, который, помимо приложения, содержит текущую версию приложения для просмотра и предварительной обработки

изображения. При установке указываются координаты станции, список спутников, часовой пояс станции, каталог записи изображения, опции управления антенной. Прием данных возможен после загрузки расписания.

**Состав и основные характеристики станции «УНИСКАН».** В состав станции входят: антенная система; лабораторный настольный блок; интерфейс связи с компьютером; персональный компьютер; программное обеспечение.

Космические снимки, получаемые со станции «УНИСКАН», позволяют в режиме реального времени получать информацию о состоянии лесов Беларуси и о текущих изменениях в государственном лесном фонде. Если для заказа и получения других космических снимков необходим один месяц и более, то космическая информация со станции «УНИСКАН» может быть получена в течение 3 – 4 часов.

**Комплекс «СканЭР»** обеспечивает прием, регистрацию и обработку цифровой информации, передаваемой полярноорбитальными природноресурсными ИСЗ типа «Ресурс-О».

В состав комплекса входят антенная система, устройство сопряжения антенной системы с ПЭВМ и программное обеспечение.

Программная часть выполнена в среде MS Windows 3.1 и состоит из двух основных приложений: ScanReceiver и Scan Viewer.

Съемочная аппаратура для дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), устанавливаемая на искусственных спутниках Земли (ИСЗ), работает в трех основных диапазонах: оптическом, инфракрасном и радиодиапазоне.

### **14.3. Обработка изображений с помощью ИТЦ «СканЭкс»**

Станции «Лиана» и «СканЭкс» являются характерным примерами персональных станций приема и обработки спутниковой информации. Спиральная антенна станции «Лиана» сравнительно легко устанавливается на крыше или балконе любого здания.

Управляемая от компьютера антенна «СканЭкс» сопровождает спутник по угловым координатам на протяжении всей видимой части витка. Комплекс обеспечивает устойчивый прием изображений с полярноорбитальных спутников «Метеор», NOAA, «Океан». Приложение ScanViewer предназначено для просмотра общей предварительной оценки и фрагментации файлов изображений Земли



из космоса, принятых с помощью станций производства ИТЦ «СканЭкс» [18].

Приложение предназначено для работы в среде Windows 98 и позволяет производить следующие операции с изображениями:

- просмотр изображений на дисплее ПЭВМ в произвольном черно-белом, псевдоцветном и синтезированном цветном представлении с произвольным выбором размера и целочисленного масштаба фрагмента изображения;

- географическую привязку изображения по орбитальным элементам спутника с наложением на изображение координатной сетки, географической карты и возможностью коррекции привязки непосредственно по изображению;

- выбор произвольного фрагмента изображения для сохранения его в новый файл того же формата или экспорта в формат Windows ;

- вывод на печать отдельного изображения или группы изображений с наложением географической привязки.

Приложение позволяет выбирать данные для загрузки как по имени файла, так и по основным его атрибутам (имя спутника, время записи). Для работы с изображениями больших размеров предоставляется возможность последовательного выбора фрагментов – одного из другого с последовательным укрупнением масштаба.

Приложение ScanViewer состоит из базового модуля ScanView.exe и набора динамических библиотек.

Типы изображений и способы отображения данных:

*Скалярные* (однокомпонентные), байтовые, изображения: каждой точке в памяти ПЭВМ соответствует одно 8-разрядное число, которое, в свою очередь, может быть представлено на экране яркостью серого тона (черно-белое) изображение или условным цветом (псевдоцветное изображение). Если в файле записаны синхронные данные нескольких спектральных каналов, то байтовое изображение может быть создано одновременно для каждого из них в собственном окне.

*Калиброванные* изображения. Если данным в изображении можно сопоставить абсолютные физические значения, то такие изображения ниже будут называться калиброванными. Для калиброванных изображений в информационной панели приложения выводится не только значение байта под курсором, но одновременно и значение соответствующей ему физической величины.

#### **14.4. Составление карт лесов с использованием космических снимков и компьютерных ГИС-технологий**

Космические снимки используются для составления мелкомасштабных карт лесов (1/200 000-1/1 000 000), типов леса, почв, эксплуатационного и гидромелиоративного фондов. Они используются для обоснования решения научных и хозяйственных задач крупных регионов: инвентаризации природных ресурсов, лесов, охраны природы, проектирования крупных объектов лесной и деревообрабатывающей промышленности и др.

При составлении карт космические снимки используются для создания топографической основы карт. Контурная и таксационная информация о лесном фонде берется по данным лесоустройства. При отсутствии материалов лесоустройства на космических снимках территория разделяется по ПТК вплоть до ландшафтов. В их пределах в натуре проводится изучение структуры местностей, урочищ, фаций, а также составляются таблицы дешифровочных признаков преобладающих пород, серий типов леса, возраста, бонитета, полнот и запасов, нелесных и не покрытых лесом площадей [5, 7].

По этим признакам проводится разделение лесных площадей на выделы, определение таксационных показателей насаждений и описание других категорий земель. Со снимков информация переносится на фотопланы и топографические карты и отображается условными знаками, штриховкой или заливкой. Материалы аэротаксации и авиационного обследования используются как дополнительные картографические и таксационные источники для дешифрирования таксационных показателей насаждений по космическим снимкам.

Полученные с помощью автоматизированных систем векторные изображения объектов исследований служат в качестве данных дистанционного зондирования для любых ГИС-технологий. Данные ГИС могут интерпретироваться в любом виде по заказу пользователя (карты, документация справки). Они могут храниться в виде документов и в виде баз данных информации на компьютерных носителях.

Технология ГИС позволяет автоматизированно самообновляться при вводе новых актуализированных данных и автоматически обновлять выдаваемые материалы в любых аспектах требований пользователя [24]. Данные материалы являются основой для

лесоустроительного проектирования, так как содержат уже не только картографическую информацию, но и любые модели роста и производительности древостоев, рубок и лесовосстановления, тематические карты, планшеты, схемы отдельных лесхозов и лесничеств, формы лесопользования, сводные данные по любому объекту, размеры пользования и т.д. [3].

В лесном хозяйстве космическая информация используется для картографирования и инвентаризации лесов, охраны лесов от пожаров, наблюдения за грозовой и ресурсной облачностью, выявления и картографирования лесов, поврежденных вредителями и болезнями, пожарами и другими стихийными бедствиями; районирования лесов, выделения поле-, почво- и водоохраных лесов, т.е. создания тематических карт; наблюдения за фенологическим состоянием лесов и других целей,

Там, где не требуется высокая детализация, например, при составлении учебных и обзорных карт масштабов 1/1–1/10 млн., возможно применение многозональных съемочных материалов с разрешением на местности порядка 20–50 м и даже меньше. В тех же случаях, где необходимо получить более подробные данные о лесных площадях, как, например, при составлении карт лесов масштабов 1/1 млн., разрешающая способность съемочных материалов должна быть не ниже 10 м.

Малое разрешение имеют тепловые и радиотепловые снимки. Они используются для изучения облачности, оценки предпожарной и пожарной обстановки, организации работ по тушению пожаров. В пожароопасный период Центральная авиабаза ежедневно получала карту лесных пожаров с наложенной информацией об облачных системах и направлении их движения.

#### **14.5. Многоуровневый мониторинг лесов**

Одной из задач дистанционного зондирования является мониторинг исследуемых ресурсов. Лесной мониторинг включает в себя три уровня обследований. В Беларуси на базе ЛРУП «Белгослес» создана многоуровневая система аэрокосмического мониторинга лесов.

Первый (верхний) уровень – космическая съемка. Исследование земной поверхности с большой высоты, вследствие чего малое разрешение, но возможность обзирать большие территории и

контролировать большие площади лесных земель. Прием и обработка космических снимков ведется с использованием станций приема космической информации УНИСКАН.

Второй (средний) уровень – аэрообследование лесных массивов, аэрофотосъемка. На данном этапе проводится более полное обследование лесных территорий в лесоустроительных, лесозащитных или других целях. Зондирование ведется с использованием авиационного аппаратно-програмного комплекса ВСК-2. По данным таких обследований можно судить обо всех изменениях в лесной растительности и проводимых лесохозяйственных мероприятиях, контролировать уровень их выполнения [1, 12].

Третий (наземный) уровень – натурные обследования, проведение лесоустроительных работ на территории лесхозов, лесопатологических и других обследований лесных территорий, использование данных геоинформационной системы «Лесные ресурсы». Кроме этого, используются наземные методы лесного мониторинга с получением данных наблюдений на постоянных пунктах учета, материалов выборочной таксации древостоев на эталонно-калибровочных участках.

Совместное использование трех уровней мониторинга позволяет с максимальной точностью и наименьшими затратами проводить обследования лесных массивов и получать лесоустроительную информацию.

Созданная система решает следующие задачи:

- разработка системы классификации спектральных изображений по космическим снимкам с привязкой к ГИС «Лесные ресурсы»;
- сканирование полога леса и спектрометрические характеристики лесных площадей с использованием авиационного ВСК-2;
- построение тематических лесных карт на основе аэрокосмических и спектрометрических изображений, ГИС «Лесные ресурсы»;
- адаптация полученных результатов в Информационной системе управления лесным хозяйством Беларуси (ИСУЛХ).

Для методического и технологического обеспечения деятельности станции приема космической информации в течение 1998–2001 гг. отработана система компьютерной обработки многозональных космических снимков для получения состояния,

динамики и прогноза лесов Беларуси. Для чего были использованы снимки со спутников «Ресурс», «Алмаз», «Океан», «Spot», «Landsat 7 ETM+» и Terra – системы Aster высокого разрешения (15 м) и Modis среднего разрешения (250 м).

Результатами компьютерной обработки космических изображений явилась серия тематических карт: ресурсной оценки ущерба лесам пожарами, ураганами, массовыми усыханиями еловых и сосновых насаждений и других.

В начале апреля 2002 г. на базе УП «Белгослес» установлена региональная станция приема космической информации (аппаратно-программный комплекс УНИСКАН). В настоящее время осуществляется прием, архивирование и тематическая обработка космических снимков высокого разрешения с ИСЗ Метеор 3М (Россия) и Terra (система Modis) среднего разрешения США.

Возможность постоянно обновлять космическую информацию в качестве обобщающей для контроля за изменениями в лесном фонде делает мониторинг непрерывным. Изменения, обнаруженные на космических снимках, могут быть перепроверены с помощью натурных или авиационных обследований, при необходимости вносятся изменения в картографические и лесоустроительные материалы.

Система сбора и обработки данных представляет собой систематизированную совокупность приемов и операций, которые необходимо выполнить для практической реализации многоуровневого аэрокосмического мониторинга лесов Беларуси.

Технологический регламент системы сбора и обработки данных включает 6 этапов.

#### 1. Получение и обработка космических снимков.

Полученные с космических спутников серии «Landsat», «Terra» «Ресурс» и другие снимки подвергаются аналогово-компьютерной обработке, осуществляются различные преобразования информации (цветовое кодирование, многократное увеличение изображения, улучшение резкости и контраста, подбор определенных сочетаний спектральных зон и т.д. с помощью программ Corel Photo-Paint, Photoshop, ER-Mapper, GeoMedia Professional).

Выявляются территории, подверженные воздействию биологических или антропогенных факторов.

#### 2. Подготовка к проведению сканирования лесов и авиационных измерений:

1) определение участков для обследования;  
2) анализ информации по намеченным участкам, имеющимся в базе данных ГИС «Лесные ресурсы». Запрос и анализ имеющейся дополнительной наземной информации по обследованию намеченных территорий у подразделений Минлесхоза (РПП «Беллесозащита», ЛРУП «Белгослес»);

3) определение параметров видеоспектральных измерений, выбор зон спектра (в зависимости от решаемых задач) для аэросъемки и порядка смены фильтров в полете, необходимого пространственного разрешения, ширины захвата кадра на местности, процента перекрытия кадров вдоль трассы и перекрытия трасс;

4) определение навигационных параметров полетов, установление высоты и скорости авианосителя (вертолета), направления и протяженности трасс полетов; удаление трасс друг от друга;

5) оформление маршрутной картосхемы, нанесение маршрутов полетов на изображения выделов с намеченными территориями съемок, использование дополнительной текстовой и цифровой информации (дата, параметры съемок и т.п.).

3. Проведение авиационных измерений: ознакомление штурмана с маршрутной картосхемой; установка съемочной аппаратуры на борт носителя; проведение видео- и спектральных съемок в соответствии с инструкцией, периодический контроль режимов съемки.

4. Предварительная обработка данных:

1) перенос полученных видеоспектральным комплексом ВСК-2 данных на стационарный комплекс обработки;

2) привязка спектров и изображений к навигационным данным с помощью GPS;

3) обработка спектров; обработка изображений БСПС (блок спектрально-поляризационной съемки);

4) спектральная и пространственная подвыборки, преобразование видеоформата.

5. Тематическая обработка данных: тематическая обработка спектров; тематическая обработка изображений.

6. Составление единого банка данных:

– построение картосхем и вывод их на печать;

- построение карт-изображений, представляющих собой изображение-мозаику с наложенными на него картографическими элементами;

- занесение полученной спектральной и видеоинформации, а также данных наземных исследований после обработки в соответствующие разделы банка данных (космических, авиационных, наземных в ГИС) в виде спектров, изображений, карт-изображений и векторных слоев с «привязанными» к ним записями в базе данных и необходимой сопутствующей информацией.

С запуском белорусского космического спутника обновление данных для мониторинга значительно ускорится, сократятся сопутствующие затраты, увеличится разрешающая способность поступающих материалов.

## **15. СПУТНИКОВЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ**

### **15.1. Назначение и использование спутниковых навигационных систем**

Спутниковые навигационные системы – программы, управляющие мощной аппаратурой, связанной между собой: спутники, GPS- приемники, радиостанции и др. Назначение навигационных систем – контроль за положением объектов, информация об их состоянии и при необходимости управление объектами. Контроль за такой системой производится с помощью пакета программ. При этом навигационные системы можно классифицировать следующим образом:

мобильная – система, устанавливаемая на подвижном объекте (ПО). В ее задачи чаще всего входит отражение местоположения объекта на электронной карте, решение простейших навигационных задач (поиск пути) и, возможно, сбор и обработка информации реального времени;

диспетчерская – система, обслуживающая обычно два или более ПО (до 1–2 тыс.). В ее задачи входит постоянное слежение за всеми контролируемыми ПО, регистрация информации движения, контроль.

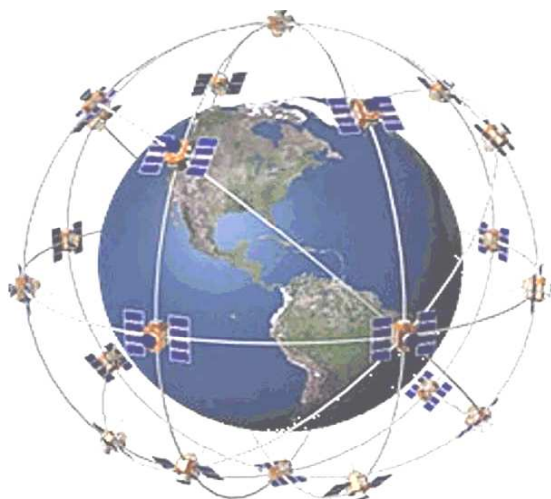


Рис.20. Космический сегмент GPS



Рис. 21. GPS приемник  
Garmin GPS II+

В зависимости от поставленных задач система может быть дополнена такими функциями, как контроль за незапланированным передвижением ПО. Навигационные системы можно также разделить в зависимости от решаемых задач на следующие классы: наземные, морские и авиационные.

Практически навигационные системы оцениваются по следующим параметрам:

1. Число подвижных объектов, обслуживаемых системой.
2. Количество электронных карт и их форматов, распознаваемых системой. Карты могут поставляться с системой, быть жестко зашиты в ней, или легко вводиться в систему после приобретения у поставщика.
3. Качество отображаемой информации и скорость ее обработки. Система ни в коем случае не должна терять информацию, приходящую от ПО, и обязана жестко ее фиксировать. Таким образом, желательно, чтобы все остальные ее функции, в частности отображение карты, были отделены и независимы от функции приема и регистрации данных.
4. Диспетчерская система обязана в любой момент по указанию диспетчера связаться с любым ПО, получить все данные о нем или задействовать один из датчиков.
5. Мобильный вариант системы должен быть совместимым со всеми информационными службами, для того чтобы иметь возможность получать оперативную информацию.



Самой важной функцией навигационной системы является работа с различными устройствами с целью установления двусторонней связи между системой GPS и подвижными объектами. Такими устройствами могут быть GPS-модем, дифференциальная станция и т.д.

Высокие требования к этой функции предопределяют, что это одно из ее узких мест. Главное – информация, поступающая с ПО, не должна быть утеряна. Для этого принимается комплекс мер на двух уровнях: аппаратном и программном. Аппаратура связи гарантирует, что при данных погодных и других условиях информация, посланная в эфир ПО, будет принята без искажений в том случае если это вообще возможно. Программные средства, в свою очередь, гарантируют сохранение принятых данных. При этом принятая информация должна быть отображена, зафиксирована и, возможно, каким-либо образом обработана. Анализ применения технологии GPS показал, что она используется не только в геодезии и картографии, но и в землепользовании, экологии, наземной навигации, архитектуре и строительстве, региональном управлении, образовании, метеорологии и т.д.

Следует отметить эффективность применения данной системы для решения задач лесоустройства. Практическое использование спутниковой навигационной системы выявляет ряд ее преимуществ при выполнении лесоустроительных работ:

- точность определения координат пунктов;
- временные затраты на определение координат точек меньше, чем при использовании традиционной наземной съемки;
- возможность проведения работ при отсутствии прямой видимости между измеряемыми пунктами;
- возможность записи в процессе измерения координат, таксационных показателей и другого во внутреннюю память приемника любой семантической информации;
- возможность экспорта результатов обработки в удобном для последующего использования ГИС-формате.

## **15.2. Структура и принцип работы навигационных систем**

Благодаря развитию средств построения программных и информационных систем, основанных на повторном использовании кода, широкое распространение получила практика модульного

построения программ. Система состоит из следующих частей (рис. 22).

Оболочка обеспечивает пользовательский интерфейс системы и предоставляет возможность любому программному расширению дополнять его. Она содержит код управления окнами, содержащими картографическую информацию, и отображает на них ПО.

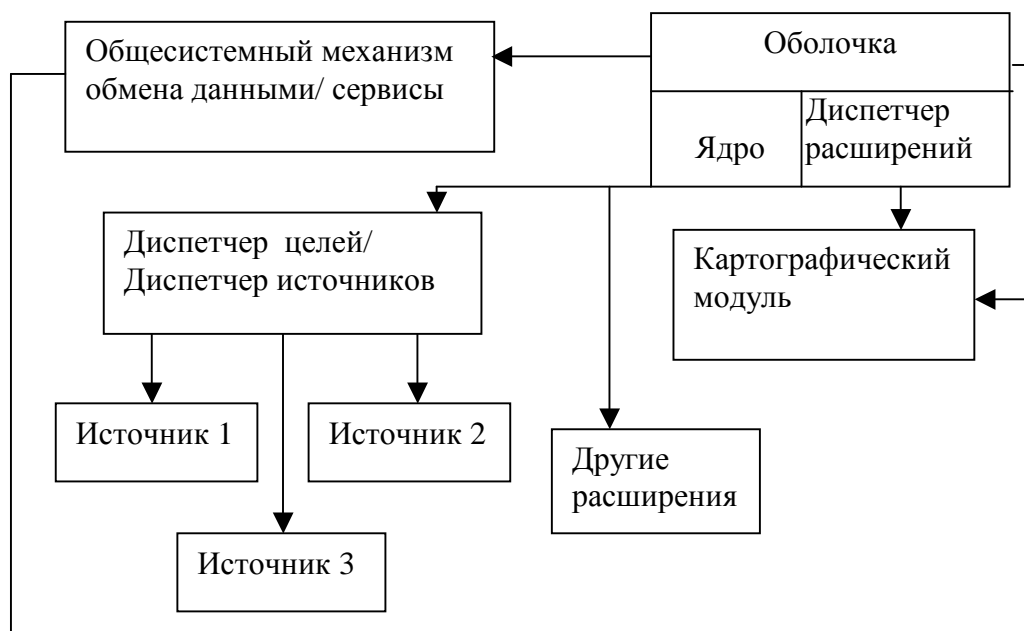


Рис. 22. Структура навигационной системы

Ядро обеспечивает связь между любыми компонентами системы, как существующими, так и теми, которые будут разработаны в будущем. Это реализуется при помощи двух механизмов – сервисов и интерфейсов. Сервис можно рассматривать как шлюз, гарантирующий доставку данных от одного модуля к другому, а идея интерфейсов позаимствована у СОМ (Компонентная объектная модель).

Диспетчер расширений служит для того, чтобы расширение системы не привело к изменению кода какого-либо из существующих компонентов, в особенности ядра.

Расширение – это загружаемый исполняемый модуль, способный интегрироваться в среду навигационной системы и выполняющий какую-либо функцию. При этом система построена таким образом, что новое расширение может взаимодействовать с любым из имеющихся компонентов или полностью переопределить его функцию. Все части системы (за исключением оболочки и ядра)

построены в виде расширений, и их интерфейсы строго стандартизированы.

Картографический модуль состоит из двух частей, одна из которых (растеризатор) обрабатывает структуру электронных карт и конвертирует информацию из векторного вида в растровый. Другая часть (каталог) ведет разбор атрибутов картографических объектов, обеспечивая их правильное отображение.

Растеризатор содержит несколько объектов. Его функции – хранение и подбор электронных карт. Каждая карта в каталоге представляется объектом «карта». В ее функции входит пересчет координат, поиск объектов и открытие видов карт. Вид карты занимается растеризацией векторной информации. Для того чтобы данная неприоритетная задача не прерывала более важных операций, таких как прием и обработка данных, она реализована в параллельном потоке. Для рисования картографических объектов вид карты вызывает каталог.

Такая структура позволяет с легкостью добавлять новый формат карты и расширять список отображаемых объектов без кода.

Диспетчер целей представляет собой сервер базы данных, содержащий информацию о подвижном объекте. Любой модуль навигационной системы может получить доступ к этой информации и уведомление об ее изменении. Источниками информации являются устройства связи с ПО.

Независимо от класса и решаемых задач в основе любой навигационной системы заложена возможность ее использования для автоматизированного картографирования. Строго говоря, эта технология позволяет строить цифровые модели, хранимые в ГИС. В свою очередь, цифровые модели могут быть использованы для последующего построения электронной карты и ее бумажного оригинала.

Как правило, данные вводят в уже существующую карту. Они позволяют хранить компактно информацию (около 5 тыс. карт на одном компакт-диске), легко решать вопрос оптимизации (безопасности) процесса. Карты хранятся в векторном виде, что позволяет изменять их масштаб и повышать их точность. На экране векторные карты отображаются в растровом виде, способны отображать более одной карты.

### 15.3. Сравнительные характеристики основных глобальных навигационных систем

Системы GPS и ГЛОНАСС введены в эксплуатацию практически одновременно и в перспективе могут служить исходными составляющими элементами общей Глобальной навигационной спутниковой системы, проекты которой широко обсуждаются.

*Общими характеристиками* систем является схожее строение: трехсегментная организация системы, отработанная на навигационных системах первого поколения; примерно равная высота орбит – 20 тыс. км; одинаковое количество спутников – 24.

*Существенные различия.* Система GPS отличается от системы ГЛОНАСС тем, что в первой используются две рабочие частоты и кодовое разделение сигналов от спутников.

В системе ГЛОНАСС используют две полосы частот, но каждый спутник работает на двух собственных частотах в обоих диапазонах частот. Частотное разделение сигналов от спутников повышает помехоустойчивость передаваемых сигналов и надежность системы.

*Несущественные различия:* различное количество орбитальных плоскостей, разные периоды обращения спутников, разные углы наклона орбит к экватору, разные системы координат.

Различное количество орбитальных плоскостей (шесть у GPS и три у ГЛОНАСС) обуславливает разное количество спутников на одной орбите (четыре спутника у GPS и восемь у ГЛОНАСС). Этим в системе GPS достигается более равномерное распределение спутников по небесной сфере, что не дает заметного преимущества.

Из-за разных периодов обращения спутников (11 ч. 57 мин. у GPS и 11 ч.15 мин. у ГЛОНАСС) системы имеют как некоторые преимущества, так и недостатки: период системы GPS является резонансным, вследствие чего конфигурации созвездий меняются очень, однако на некоторых участках земного шара может возникать устойчиво плохая конфигурация созвездий, ухудшая тем самым геометрический фактор (недостаток), в системе ГЛОНАСС конфигурации созвездий меняются довольно быстро (7дней), поэтому все районы земного шара по геометрическому фактору будут находиться примерно в равных условиях. Углы наклона орбит к экватору в описываемых системах также различны ( $55^0$  у GPS и  $64,8^0$  у ГЛОНАСС).

#### **15.4. Направления развития спутниковых навигационных систем**

В развитии навигационных систем планируется выполнить ряд задач: 1) привести системы ГЛОНАСС и GPS к единому времени; 2) создать расширенную сеть непрерывного мониторинга навигационного поля с одновременной выработкой дифференциальных поправок. Аппаратурные средства и программное обеспечение станций мониторинга позволяют на каждой станции производить непрерывные измерения шкал времени, расхождения систем координат GPS и ГЛОНАСС и передавать дифференциальные поправки и другие виды информации пользователям.

Использование навигационных систем ведется в следующих направлениях: укрепление и поддержание безопасности страны, повышение эффективности работы и безопасности эксплуатации транспорта, поддержка научного и технического потенциала в области космических навигационных систем, обеспечение широкомасштабного внедрения спутниковых навигационных систем в различные сферы деятельности. Заметной тенденцией последнего времени является рост числа абонентов сотовой связи: к 2001–2002 гг. оно увеличилось до 500–600 млн.

Первой спутниковой системой связи считают Iridium . В настоящее время у нее появился конкурент CCC Globalstar. Это глобальная цифровая система персональной связи, основанная на использовании низкоорбитальных спутников. Набор услуг включает: передачу речи, данных, факсимильных сообщений, сигналов персонального радиовызова, определение координат объектов и многое другое. Причем максимальная задержка сигнала не должна превышать 150 мс, а время установления соединения 5 с. Эта технология позволяет дозвониться до абонента независимо от его положения.

### **16. ОРГАНИЗАЦИЯ ОХРАНЫ ЛЕСОВ ОТ ПОЖАРОВ И БОРЬБЫ С НИМИ**

#### **16.1. Организация авиационной охраны в РБ**

*Лесным пожаром* называется распространение горения по лесной территории без контроля человека. Причиной возникновения около 69% лесных пожаров в РБ является хозяйственная деятельность человека и 31% не устанавливается.

В РБ обнаружение и тушение лесных пожаров проводится силами и средствами лесной охраны. На авиацию возлагается ответственность за обнаружение, определение их местоположения, сообщение сведений о лесных пожарах и их тушение.

В РБ авиационную охрану лесов от пожаров возглавляет Белорусская база авиационной охраны лесов МЧС РБ «Беллесавиа». В нее входят 12 авиаточек: Минская, Витебская, Гродненская, Могилевская, Брестская, Пинская, Мозырская, Гомельская, Солигорская, Молодеченская, Ганцевичская и Полоцкая обслуживающие 17 маршрутов.

Для охраны лесов у авиабазы имеется 21 летательный аппарат, в том числе: 2 КА-26 – для чернобыльской зоны, 7 вертолетов МИ-2 (рис. 23) и МИ-4 и 8 самолета АН-2 (рис. 23). В 2000 г. приобретено 4 самолета ИЛ-103 для патрулирования лесов (со средней скоростью полетов 180–200 км/ч, дальность полета – 800 км, высота полета – 3000м). Самолеты АН-2 будут переоборудованы для тушения пожаров с воздуха.



Рис. 23. Вертолет МИ-2

В штате базы имеется 16 летчиков наблюдателей, 24 пилота, 9 инструкторов и 60 десантников пожарных.

В наиболее трудном 1992 г. в РБ обнаружено 7213 пожаров (1662га). С применением авиации обнаружено 59,5% пожаров, и самостоятельно потушено 12,6% и с применением авиации 17,0%.

В 2002 г. с помощью авиации было обнаружено 2076 пожаров из 4470 возникших. За год налет составил 4460 ч.

### **16.2. Технология авиационной охраны лесов**

Для обнаружения пожаров над лесными массивами на высоте 600–800 м совершаются регулярные полеты. При средних условиях видимости дым от лесного пожара средней интенсивности (0,5–1,0 га) хорошо заметен на расстоянии 30–35 км, костра – 25 км. Поэтому для осмотра всей охраняемой территории маршруты полетов прокладываются на расстоянии 60 км и от границ – 30 км. Они намечаются в виде замкнутого многоугольника, опирающегося в точках поворота на хорошо заметные ориентиры. За каждым аппаратом закрепляется один или несколько маршрутов [13].

Протяжение маршрута зависит от типа летательного аппарата, его скорости, резерва времени на сход с маршрута для осмотра и детальной разведки пожаров, их тушения, перевозки людей и т.д. (20 – 30% от общего времени).

Нормы выработки в пажароопасный период составляют для АН-24 – 6 ч., обследуемая площадь 3–4млн. га, для вертолета МИ-2 – 4 ч., обследуемая площадь 1,5 млн. га.

Количество полетов по классам пожарной опасности:

I класс – пожарная опасность отсутствует – только для осмотра действующих пожаров;

II класс – слабая – через 1 – 2 дня и ежедневно для осмотра действующих пожаров;

III класс – средняя – ежедневно;

IV класс – высокая – не менее 2 раз в день;

V класс – чрезвычайная – не менее 3 раз в день.

В основном полеты проводятся с 10–11 ч. утра и далее по мере горимости лесов с учетом заправки и санитарного минимума.

Радиационно-загрязненные леса лесхозов относятся к I классу пожарной опасности. Пажароопасный период – независимо от фактической пожарной опасности по условиям погоды, режим работы лесопожарных служб устанавливается как для дней IV и V класса пожарной опасности, а количество полетов увеличивается до 5 раз в день.

По внешнему виду определяется вид пожара:

*низовой* – форма вытянутая, границы извилистые, дым светлый с отдельными черными струями, огонь просматривается только в отдельных местах;

*верховой* – при засушливо-ветренной погоде – форма вытянутая, граница извилистая, дым темный, видны вспыхивающие кроны, дым поднимается на значительную высоту – конвекционная колонка (конус), заканчивается кучевым облаком;

*торфяной (подземный)* – границы незаметны, дым светлый, поднимается со всей площади, на старых пожарах стелется по границам, заметны упавшие деревья.

После обнаружения, определения местоположения и детального осмотра летчик-наблюдатель сообщает по радио о пожаре и составляет донесение. На схеме указываются границы пожара, ориентиры, просеки, дороги, естественные преграды, план тушения и пути подхода к пожару. В тексте указывается место пожара, необходимое количество рабочих и т.д. Донесение с вымпелом сбрасывается в пункте приема донесений.

### **16.3. Технические средства авиационной охраны лесов**

Для охраны лесов используются самолеты АН-24 и ИЛ-103 и вертолеты МИ-2 и КА-26.

Параюты используются для высадки людей и грузов. В основном используются парашюты Т-4 (64 м<sup>2</sup>) и специальные – «лесник». В куполе парашюта имеются два радиальные щелевые отверстия, через которые при спуске выжимается воздух и создается реактивный момент. Поэтому парашютист может изменять направление полета.

Прыжки с парашютом совершаются с высоты около 600 м на открытые площадки (пашни, сенокосы, поляны, 75×75 м) и в специальном защитном снаряжении на кустарники и древостой высотой до 20 м. Лопаты и топоры сбрасываются без парашютов, взрывчатые вещества, мотопилы, продукты – на грузовых парашютах.

Многоцелевой самолет-амфибия Бе-200 является наиболее совершенным и эффективным в мире. Бе-200 не уступает по большинству летно-технических характеристик сухопутным самолетам-аналогам, но обладает уникальной возможностью взлета и посадки как на сушу, так и на воду. Противопожарная модификация самолета имеет возможность принимать на борт 12 т воды в 8 секций



водяных баков, расположенных под полом кабины. Самолет заправляется водой как на аэродроме, так и осуществляет забор воды на глиссировании за 14 с из любого источника глубиной не менее 3 м. За одну заправку топливом самолет Бе-200 может сбросить на очаги пожара до 270 т воды.

Самолет Бе-200 оснащен новым пилотажно-навигационным комплексом, обеспечивающим навигацию и управление полетом на всех этапах в любых метеорологических условиях, а также ведет автоматический анализ, контроль и запись работы всех бортовых и дополнительных систем в полете и на земле.

Самолет-амфибия Бе-200 (рис. 24) может эксплуатироваться с аэродромов, а также с воды при глубине не менее 3 м. Основные характеристики самолета-амфибии Бе-200: взлетный вес 37,2 т, скорость 710 км/ч, дальность полета 3600 км, взлетная дистанция с суши (с воды) 700 м (1000 м), посадочная дистанция на сушу (на воду) 950 м (1300 м), объем баков для воды 12 м<sup>3</sup>, объем баков с химжидкостью 1,2 м<sup>3</sup>, скорость при сбросе воды 220 км/ч, вес сброшенной воды за одну заправку топливом 270 т.



Рис. 24. Российский самолет-амфибия Бе-200

#### **16.4 Авиационные методы тушения лесных пожаров.**

На практике проверялись следующие методы тушения пожаров:

1. Тушение огня сбрасыванием авиабомб и стеклянных ампул с огнегасящими веществами.
2. Создание минерализованных полос сбрасыванием авиабомб.

3. Создание заградительных полос путем выливания воды и химикатов.

4. Использование парашютистов и десантников-пожарных.

5. Введение йодистого серебра и свинца, сухого льда или сернистого льда в мощные кучевые облака.

Однако полет вертолета над кромкой пожара на небольшой высоте опасен, а воздушный поток от винта раздувает огонь и разбрасывает горящие материалы. В последние годы практикуется слив воды большими массами для ослабления пожара, уменьшения скорости его движения и затем дотушивание центра конденсации наземными средствами (гидросамолеты, амфибии).

При введении препаратов в облака они разрушаются, и через 10–12 мин., в течение часа активно выпадает дождь. Мощность толщины облака должна быть не менее 2 км., а температура вершины – 5–7°. Длина смоченной полосы 3–30 км, ширины – 2–6 км. Для страховки реагент вводят в несколько облаков, охватывая пожар полукольцом.

### **16.5. Обследование гарей и возможности их возобновления**

Предварительный просмотр аэроснимков показывает, что изображение гари отличается неоднородностью. Особенно ярко это заметно на спектрзональных аэроснимках. Выделяются следующие участки гари, резко отличающиеся друг от друга:

- 1) кроны полностью сгорели, а стволы обуглились;
- 2) погибшие кроны деревьев сохранились, но хвоя подсохла и приобрела коричневую окраску, стволы частично обуглились;
- 3) прогалины и редины с частично или полностью уничтоженным возобновлением;
- 4) кроны части деревьев погибли и побурели, стволы частично обуглились, у остальных деревьев кроны не повреждены.

Согласно принятым в пирологии терминам, описание первого пункта соответствует характеру повреждения насаждения беглым верховым пожаром, второго и четвертого – сильным низовым пожаром, а третьего – слабым низовым пожаром.

На цветных спектрзональных аэроснимках масштаба 1/25 000 гарь изображается синим цветом, а участки леса, поврежденные различными видами пожара, – отличными друг от друга тонами. Как общая граница гари, так и границы отдельных участков на ее площади выделяются на спектрзональных аэроснимках совершенно ясно. На

аэроснимках хорошо видна структура полога поврежденного насаждения. Во многих местах хорошо выделяются кроны отдельных деревьев в том случае, если хвоя на них частично или полностью сохранилась.

Черно-белые отпечатки со спектральной пленки по своим дешифровочным качествам могут быть приравнены к панхроматическим. На этих аэроснимках свежая гарь отличается от окружающего насаждения прежде всего светло-серым тоном изображения. При этом тон изображения неодинаков. Участки, пройденные беглым верховым пожаром и сильным низовым, отличаются друг от друга тоном изображения. Граница гари на аэроснимках этого типа выделяется не резко, в особенности, когда проходит по рединам и прогалинам. Тон изображения редин и прогалин, пройденных жаром, неравномерный и варьирует от светло-серого до темно-серого.

Применение аэроснимков более крупного масштаба улучшает возможность дешифрирования гари. На аэроснимках масштаба 1/5 000 хорошо видны обуглившиеся стволы без крон, просматривается почва, наличие вывала деревьев, увеличивается возможность учета деревьев с сохранившейся кроной, различия их на погибшие и живые. На прогалинах, вырубках и редилах хорошо выделяются гряды песчаных дюн и просматривается микрорельеф.

Определив по аэроснимкам степень повреждения насаждений пожаром, можно сделать прогноз появления вредных насекомых. Например, совершенно определенно можно сказать, что участки леса, частично поврежденные сильным низовым пожаром, в первую очередь подвергнутся заселению вторичными вредителями. Для того чтобы избежать появления очагов вторичных вредителей, санитарные рубки следует назначать в этих участках в первую очередь.

При проведении разработки гари в первую очередь в рубку нужно назначать участки, погибшие от сильного низового пожара и только после этого – погибшие от беглого верхового, так как полностью обуглившиеся стволы обычно не заселяются вторичными вредителями.

#### **16.6. Использование космической информации для охраны лесов от пожаров**

Для обнаружения и оценки последствий пожаров лесов и торфяников используется ряд методов и приемов: наземный,

авиационный, пожарные вышки, в том числе и наблюдения с помощью инфракрасного излучения. Для этих целей используется оперативная космическая информация со спутников NOAA. Однако разрешающая способность этих снимков довольно низкая (около одного км), что не всегда позволяет обнаружить пожар лесов локального плана и оценить последствия пожара, прежде всего закартировать сгоревшую площадь леса и торфяника.

Служба МЧС России для ведения мониторинга пожаров лесов и торфяников успешно использует космические снимки со спутника Terra (Modis) среднего разрешения. Но и эта система в условиях Беларуси является малоэффективной, так как площади пожаров лесов и торфяников в республике несопоставимы с площадями пожаров в тайге.

Исходное космическое изображение является недостаточно информативным, хотя крупный пожар торфяного массива юго-западнее г. Глубокое просматривается в виде небольшого облака (дым). Специальная компьютерная обработка многозонального космического снимка Landsat 7 ETM+, полученного 5 сентября 1999 г., позволила детализировать пожарную обстановку крупного торфяного массива и примыкающих к нему лесов (рис.25).



Рис. 25. Обнаружение и оценка последствий торфяных пожаров с космического снимка «Landsat». Снимок получен 5.09.1999 г.

На обработанном космическом изображении четко выделяются сгоревшая площадь (темно-синий тон), собственно огонь, площадь разогретого торфяника (темно-бурый тон). В южной части снимка выделяется дымовая завеса. Полученное обработанное космическое изображение пожара позволяет с высокой степенью достоверности произвести ресурсную оценку, оценить ущерб и дать прогноз дальнейшего развития пожара.

К наиболее перспективным методам дистанционного контроля относится оптический метод обнаружения лесных пожаров в инфракрасном (ИК) диапазоне по их собственному тепловому излучению.

В Беларуси разработана и создана автоматизированная инфракрасно-телевизионная (ИК-ТВ) система обнаружения очагов возгорания, предназначенная для круглосуточного всепогодного дистанционного пожарного мониторинга крупных лесных массивов. Она позволяет автоматизировать процесс контроля и пеленгации возгораний и, соответственно, применять эффективные действия на ранней стадии возникновения и развития пожаров, минимизировать связанные с ними потери и возникновение чрезвычайных ситуаций.

Система состоит из сети ИК-ТВ автоматических модулей обнаружения, устанавливаемых на вышках в локальных пунктах наблюдения, и одного центрального пункта (ЦПО) приема-передачи и обработки информации. Функционально система состоит из узлов: ИК-ТВ автоматических модулей обнаружения; радиосети приема-передачи цифровой информации; центрального пункта приема-передачи и обработки информации (ЦПО).

Нахождение и пространственное выделение очагов возгорания осуществляется ИК-ТВ-модулем автоматически, а получение телевизионной картинки – по команде с ЦПО.

Структура ИК-модуля: ИК-телескопическая система; сканирующее устройство; ТВ-камера с оптической системой; микропроцессорный модуль управления и обработки сигналов на основе промышленного компьютера; модуль питания; аппаратура приема-передачи цифровой информации.

В состав ЦПО входят IBM-совместимый персональный компьютер, аппаратура радиосети приемопередачи, состоящая из радиостанции типа GM-350 фирмы «Motorola», модема, антенны и источника питания, устройства аварийной сигнализации.

## **17. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ И АВИАЦИИ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

### **17.1. Обследование вырубок и состояния лесовозобновления. Авиационное регулирование состава молодняков**

АКС различных масштабов используются для контроля за соблюдением правил рубок главного пользования, освоения лесосечного фонда, размеров лесосек, их расположения на склонах, наличия недорубов и перерубов.

По спектрально-аэрофотоснимкам (АФС) масштаба 1/10 000–1/15 000 можно оценить технологию разработки лесосек, состав семенников и недорубов, крупного подроста, степень минерализации и подготовки почвы под культуры, штабеля древесины и отдельные стволы. На снимках более крупных масштабов по цвету различается возобновление старше 5 лет, и по ним можно выделить лесокультурный фонд.

Культуры на АФС имеют четкие границы и равномерный полог. Свежие борозды имеют вид синевато-зеленых или синих линий. Посадки и посев имеют вид синеватых полос на фоне желтого травяного покрова.

При использовании самолетов полеты совершаются на высоте до 200 м, вертолетов – 30 – 40 м. С такой высоты хорошо заметны недорубы, семенники, невывезенная древесина и порубочные остатки, мероприятия по содействию естественному возобновлению и подготовка почвы под культуры.

С вертолета хорошо заметно возобновление старше 5 лет, его состав оценивается по цвету (осенью). Доля хвойных пород обычно занижается. Возобновление хвойных до 5 лет и лиственных до 3 лет плохо заметно. Поэтому нужны данные для описания невозобновившихся вырубок и учета возобновления.

В случае зарастания культур хвойных пород мягколиственными используются авиационные методы регулирования состава молодняков. Для химической обработки подбираются смешанные мягколиственные молодняки I – II классов возраста с наличием 1,5–2 тыс. шт./га стволов хвойных пород высотой более 0,5 м.

Для обработки насаждений используются арборициды (древесные яды). Они должны обладать избирательным действием,

т.е. уничтожать мягколиственные и оставлять хвойные породы. Для этой цели обычно используется бутиловый эфир. Его дозировка подбирается так, чтобы за 1–2 года отмерла половина лиственных пород.

Обработка древостоев проводится в конце июля – начале августа после появления верхушечных почек и одревеснения побегов хвойных пород. Технология обработки та же, что и при проведении авиаборьбы с вредителями леса.

На второй день после обработки свертываются листья, молодые побеги изгибаются, через 2–3 недели бурют и отмирают. Деревья отмирают в течение года.

При проведении обработки должны строго соблюдаться меры для предотвращения попадания арборицидов на сельскохозяйственные угодья, населенные пункты и домашних животных. В течение года запрещается сбор ягод и грибов, в течение 2–3 недель – сенокошение и пастьба скота.

Для полного уничтожения деревьев и кустарников на лугах и сенокосах проводится две обработки в течение 2 лет. Усохшие деревья вырубаются и сжигаются.

## **17.2. Авиационные методы обследования санитарного состояния лесов**

### Обследование ветровалов и возможности лесовосстановления.

Леса нашей страны периодически подвергаются различным стихийным бедствиям, в частности ветровалам, после которых перед лесным хозяйством встает вопрос о необходимости изучения насаждений, разработки поврежденной древесины с тем, чтобы по возможности снизить ущерб, а также в минимальные сроки провести лесовосстановительные мероприятия на площади ветровала. Для оперативного решения этих задач необходимо в сжатые сроки провести лесоучетные работы, выполнение которых наиболее целесообразно дистанционными методами.

Контурное дешифрирование начинается с отграничения нелесных площадей от лесных. В пределах лесопокрытой площади выделяются участки с различной степенью повреждения ветровалом с градацией в 10%. После установления контуров дешифрируются таксационные показатели ветровалов.

Группы пород определяются по формам и размерам крон, тону их изображения и теням, общему характеру рисунка, по породному составу уцелевших единичных деревьев и куртин. Средняя высота растущих деревьев определяется инструментально, путем измерения разности продольных параллаксов, длина упавших деревьев – путем прямых измерений и длины на снимках лупой с 10-кратным увеличением. Средний диаметр определяется по зависимостям  $d_{1,3}=f(h)$  и  $d_{1,3}=f(D_k)$ . Диаметры крон измеряются по снимкам измерительной лупой. На круговых площадках подсчитывается по снимкам число деревьев, определяется объем среднего дерева и общий запас.

По товарности запас ветровальников делится на две группы. К товарным ветровальникам относятся те, у которых средний диаметр на высоте груди более 12 см, а запас не менее 50 м<sup>3</sup>.

Хозраспоряжения назначаются путем осмотра участков по аэроснимкам. При этом учитывается связь участков ветровала с бывшим составом, классами бонитета, рельефом, степенью увлажнения, взаимным расположением уцелевших насаждений.

#### Оценка пораженных вредителями и болезнями древостоев.

Вредные насекомые и болезни наносят не меньший вред лесам, чем лесные пожары. Постоянный лесопатологический надзор за состоянием лесов проводят работники лесной охраны, согласно «Инструкции по авиационной охране лесов», согласно пункту 5: «Работы по лесозащите, проводимые базой авиационной охраны лесов, и обслуживание лесного хозяйства».

При проведении наземной таксации лесоустроители оценивают санитарное состояние каждого насаждения и намечают мероприятия по их оздоровлению.

Гусеницы наиболее опасных вредителей (сибирского соснового и непарного шелкопряда, сосновой пяденицы и др.) объедают хвою с вершин деревьев. Поэтому по окраске и густоте крон поврежденные древостои значительно отличаются от здоровых. Эти различия хорошо заметны с летательных аппаратов и на цветных спектральных и синтезированных АКС.

В РБ надзор и оценка санитарного состояния насаждений проводятся во время патрульных полетов по охране лесов от пожаров. При наличии значительных повреждений в состав экипажа может включаться лесопатолог. При проведении полетов на картографические материалы (фотопланы) наносятся насаждения с



измененной окраской, изреженными кронами, с наличием сухостоя, горельники, ветровалы и др.

По материалам авиационных наблюдений составляется карта-схема и намечаются пункты и маршруты наземного обследования лесов. В результате проведения наземного обследования дается детальная характеристика состояния насаждений, очагов вредителей и болезней, численности вредителей, ожидаемых повреждений насаждений, прогноз развития очагов на следующий год, а также рекомендуются мероприятия по оздоровлению насаждений.

Сложившаяся лесопатологическая ситуация в еловых насаждениях Беларуси требует принятия кардинальных мер по изучению динамики древостоев в ретроспективном плане. Решить эту сложную задачу традиционными наземными методами затруднительно. Поэтому в последние годы разрабатывается многоуровневая система аэрокосмического лесопатологического мониторинга лесов, включающая космический, авиационный и наземно-подземный уровни.

Аэрокосмический лесопатологический мониторинг включает в себя

- дистанционную индикацию структуры, масштаба, степени и природной приуроченности очагов поражения;
- анализ и прогноз динамики измененных площадей очагов;
- пространственно-временное моделирование трансформации лесов под воздействием неблагоприятных факторов;
- природное районирование и прогнозирование лесовосстановительных процессов;
- автоматизацию тематической обработки многозональной аэрокосмической информации.

Информационная база лесопатологического мониторинга формируется по нескольким каналам.

С одной стороны, по материалам учета и наблюдений в природных условиях поступает экологическая информация о численных и структурных параметрах популяций насекомых, их взаимоотношениях с кормовыми растениями. С другой – формируется блок данных, характеризующих среду обитания насекомых. Только в этом случае появляется возможность перехода к эколого-математическому моделированию.

Технологические процессы функционирования системы лесопатологического мониторинга состояния лесов на основе

аэрокосмических и наземных измерений должны решать следующие задачи:

- оперативное обнаружение участков поражения насаждений и других неблагоприятных воздействий на древостой;
- оперативное наблюдение, обнаружение, оценка параметров, контроль динамики и прогноз распространения фито- и энтомологических повреждений лесов;
- получение сведений для наполнения кадастровой базы данных Министерства лесного хозяйства и подведомственных ему организаций (в первую очередь ГУ «Беллесозащита»).

На сегодняшний день снимки Landsat 7 ETM+ являются наиболее информативными для изучения лесопатологии. Пример применения космических снимков с ИСЗ Landsat 7 ETM+ приведен на рис. 26.

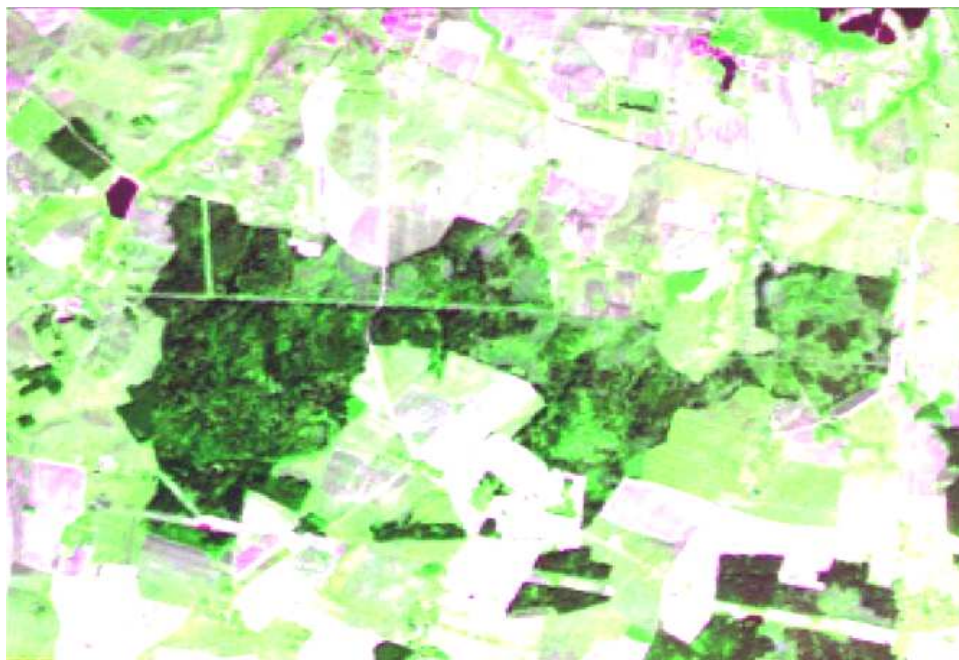


Рис. 26. Обнаружение очагов массового усыхания ельников на космическом снимке «Landsat 7 ETM+». Снимок получен 5.09.1999 г.

Результаты компьютерной обработки многозональных космических снимков показывают, что усыхающие ельники уверенно выделяются на обработанном изображении. На общем фоне зеленого и темно-зеленого тонов изображения (здоровые насаждения) выделяются серовато-синие и темно-серые участки изображения.

Полевое эталонирование показало, что этим участкам соответствуют площади усохших ельников. Кроме того, выделяются вырубки сухостоев, которые отражаются темно-желтыми и желтыми тонами обработанного космического изображения.

При ведении лесопатологического мониторинга использовались материалы аэросъемки, полученные с помощью авиационного аппаратно-программного комплекса ВСК-2. Материалы съемок имеют высокое разрешение и оперативность и позволяют детализировать результаты, полученные с помощью космических средств.

### **17.3. Использование аэроснимков для обследования санитарного состояния лесов и борьбы с вредителями**

Наземные и авиационные методы обследования лесов дорогостоящие и недостаточно эффективные. Для более оперативного получения информации необходимо использовать материалы АКС.

На КС поврежденные насаждения дешифрируются по тону и цвету. Минимальный размер дешифрируемых объектов зависит от масштаба, разрешающей способности и изменяется от единиц до тысяч гектаров. Наиболее высокими дешифровочными свойствами отличаются цветные синтезированные и спектрзональные АКС. При наличии КС контроль санитарного состояния лесов можно оперативно осуществлять на огромных площадях с необходимой повторяемостью.

Более подробную информацию о состоянии лесного фонда можно получить по АФС различных масштабов. На мелкомасштабных АФС (1/50 000–1/100 000) хорошо дешифрируются гари и поврежденные насаждения. На АФС масштаба 1/10 000–1/15 000 можно выделить 3–4 степени повреждения насаждений. На крупно- и сверхкрупномасштабных АФС заметна степень повреждения крон деревьев и их частей. Но по АФС можно определить только степень повреждения, но не вид вредителя. Поэтому дешифрирование АКС должно сочетаться с наземными обследованиями.

Значительный вред лесам, особенно хвойным породам, наносят промышленные выбросы. Для выявления повреждений проводится выборочная АФС, как правило, на спектрзональную аэропленку. Для получения детальной информации на АФС должны отдельно изображаться кроны деревьев с различными степенями повреждений. Они хорошо заметны на АФС масштаба 1/500. Выборочные

сверхкрупномасштабные снимки используются для закладки фотопроб, которые должны равномерно размещаться на обследуемой территории.

Авиационно-химическая борьба с вредителями и болезнями лесов заключается в проведении опыливания или опрыскивания ядовитыми веществами с летательных аппаратов очагов размножения вредителей.

Для проведения работ вблизи объектов подготавливаются временные аэродромы или площадки. Для проведения обработки большие площадки разбиваются на однородные участки (гоны).

Длина участка (гона) устанавливается в зависимости от видимости сигналов: при использовании радио и ракет – 3–4 км, флагов и шаров-пилотов – 1,5–2 км. Сигнализация организуется в начале и в конце каждого участка (гона). Для этого намечаются линии (визеры), на которых колышками отмечаются места стояния сигнальщиков. Расстояние между колышками равно ширине обрабатываемой полосы.

Таблица 6

**Ширина полосы при полете на высоте 10м над кронами**

Летательный аппарат	Опыливание	Опрыскивание
Самолет	до 50 м	до 40 м
Вертолет	до 30 м	до 25 м

Ширина захвата устанавливается так, чтобы бак опорожнялся в конце гона. В целях безопасности допускается увеличение высоты полета до 30 м при опыливании и 40 м при опрыскивании.

Обработка участков проводится челночными или заходными способами. Работы проводятся при хорошей видимости. Допустимая скорость ветра при опыливании до 2 м/сек, при опрыскивании – 3–4 м/с. Лучшее время для выполнения работ с 8 до 9 ч. и с 17 до 18 ч. В это время над пологом леса наблюдаются нисходящие потоки воздуха, с которыми препараты проникают в кроны деревьев.

При авиационно-химической обработке очагов вредителей и болезней повторяются производственные полеты-циклы.

В течение цикла рабочее время затрачивается на загрузку аппарата с ядохимикатами, выруливание на старт, разбег, взлет, полет к участку, обработку участка, полет к аэродрому, посадку и т.д. Исходя из продолжительности цикла и размера обрабатываемой

площади, определяется производительность летательного аппарата за 1 ч. и рабочий день. При этом предельная санитарная норма налета за день для самолета 6–8 часов и вертолета 4–5 часов. Сезонная производительность зависит от количества летных дней, состояния вредителей, метеорологических условий и т.д. В среднем в день АН-2 опыливает 200–300 га и более. Производительность опрыскивания на 20–35% выше, чем опыливания.

Для оценки качества обработки проводится подсчет числа погибших личинок, гусениц и взрослых насекомых. Для этого на каждые 100 га подбирается по 3–4 модельных дерева. Под ними убирается подстилка и напочвенный покров. В течение 5–6 дней после обработки собирают и подсчитывают опавших и погибших гусениц. На спиленных модельных деревьях подсчитывают живых и мертвых гусениц. По этим данным вычисляют процент вредителей и оценивают качество работы: 80–95% – удовлетворительное, более 95% – хорошее.

На площадках подсчитывают число погибших полезных насекомых, а по дорогам, просекам и полянам – птиц и зверей.

Качественные инсектициды и биопрепараты, аппаратура для опрыскивания и опыливания позволяют при своевременном проведении борьбы полностью ликвидировать очаги вредителей и болезней.

Техника безопасности при авиационной обработке насаждений. Все работы с применением инсектицидов и биопрепаратов должны проводиться в строгом соответствии с санитарными правилами Минздрава РБ, так как все они вредны для здоровья человека, животных, птиц, пчел и т.д. К работе допускаются только лица, знающие их свойства и правила обращения с ними, т.е. прошедшие специальную подготовку. Каждому рабочему выдается защитная одежда, очки, противопыльный респиратор, набор медикаментов, и они находятся под постоянным наблюдением медработников.

Инсектициды и биопрепараты хранятся и перевозятся в специальной таре. В лесхозах и на аэродромах оборудуются специальные склады для их хранения с охраной. Перевозка их проводится в специально оборудованных автомобилях. После окончания работ остатки химикатов сдаются на склад. Места работы с ними обеззараживаются, перекапываются и перепахиваются. Местное население заранее предупреждается о проведении работ с точным

указанием места и времени. Для предотвращения случаев отравления людей, животных и гибели пчел предусматривается проведение необходимых карантинных мероприятий.

#### **17.4. Использование авиации и аэрофотосъемки в охотничьем хозяйстве**

Летательные аппараты и АФС используются для проведения учетов охотничьих животных, таксации охотугодий, изучения экологии животных и проведения охотхозяйственных мероприятий.

Летательные аппараты и АФС являются наиболее эффективным средством проведения учетов. Для их проведения в лесах лучше использовать вертолеты, на открытых местах – самолеты.

Сезон и время учетов устанавливаются с учетом образа жизни животных, состояния местности и метеорологических условий. Обычно учеты проводятся в ранние утренние или вечерние часы. Высота полета самолета 150–200 м, вертолета – до 100 м. Расстояние между маршрутами устанавливается с учетом видимости животных.

При проведении учета в лесу животные находятся в поле видимости самолета 3–5 с. За это время необходимо их обнаружить, подсчитать и определить вид. Сверху видны однотонная спина, шея и голова. Поэтому для определения вида, пола и возраста нужна предварительная тренировка и хорошие знания внешних признаков животных. Для проведения учета северных оленей, сайгаков, морских котиков, водоплавающих уток проводится их АФС.

Летательные аппараты используются для изучения гибели (смертности), миграций зверей и птиц, динамики численности и их пространственного размещения. При проведении охотхозяйственных мероприятий авиация используется для доставки охотников и вывоза продукции охоты, промыслового отстрела копытных, их обездвиживания и перевозки, аэропосева кормовых и защитных растений.

#### **17.5. Аэрометоды при изыскании и проектировании лесоосушительных мелиораций и лесовозных дорог**

Осушение является эффективным средством повышения плодородия заболоченных и избыточно увлажненных лесных земель. Осушительные работы проводятся по специальным проектам.

Для разработки проектов предварительно проводится обследование лесомелиоративного фонда, его пространственного

размещения, гидрографической сети, рельефа и т.д. Для их составления проводятся лесоводственно-мелиоративные, почвенно-грунтовые, гидрологические и топографические изыскания преимущественно на основе дешифрирования АКС.

Топографические изыскания и рисовка рельефа в горизонталях являются наиболее важной и трудоемкой работой. Выполнение их значительно упрощается при наличии АФС, которые используются для составления карт и рисовки рельефа в горизонталях. В натуре проводится лишь небольшой объем геодезических работ для высотной привязки АФС путем прокладки нивелирных ходов. По возможности они прокладываются по пониженным местам – первичным водотокам, чтобы потом использовать в качестве трасс осушительных канав.

Положение осушительных канав намечается на картографических материалах. Обычно их совмещают со съемочными ходами. Это дает возможность получить детальные данные по каждому каналу. Затем положение каналов уточняется при вынесении осушительной сети в натуру с проведением полевых геодезических измерений по каждому каналу.

При проектировании дорог необходимо иметь данные о расположении лесных массивов, рельефе и почвенно-грунтовых условиях, наличии болот, рек, оврагов и других препятствий для строительства дорог. Обычно наиболее выгодное направление трассы дороги выбирается по АФС, т.е. составляется предварительная схема дороги. Более детальные изыскательские работы выполняются наземными методами, но их объем в 2–3 раза меньше.

По другой технологии вдоль трассы дороги проводят АФС с радионивелированием. По материалам АФС составляется уточненная фотосхема, на которой проводится рисовка рельефа в горизонталях. В камеральных условиях проводится разбивка трассы дороги, а для детализации трассы и выбора пунктов примыкания к магистральным путям транспорта используются АФС. При стереоскопическом их рассмотрении уточняется направление дорог и веток в соответствии с техническими требованиями. Одновременно с трассированием дорог уточняются места переходов через реки, водоразделы, уклоны, болота и овраги. Вынос трассы дороги в натуру проводится путем привязок к твердо опознанным точкам и ориентирам.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Атрощенко О. А., Ильючик М. А. Система аэрокосмического мониторинга лесов Республики Беларусь // Аэрокосмические методы в лесном комплексе: материалы межд. науч.-практ. конф. – С.Пб., 2002. – С. 53–55.
2. Атрошчанка А. А., Ермакоу В. Я., Дзямід М. П. Лесаупарадкаванне. – Мн.: БГТУ, 2002. – 498 с.
3. Атрощенко О. А. Толкач И. В. Геоинформационные системы в лесном хозяйстве: учебное пособие. – Мн., 2003. – 98 с.
4. Атрощенко О. А. Толкач И. В. Дистанционное зондирование лесов и геоинформационные системы в лесном хозяйстве. – Мн.: БГТУ, 2003. – 375 с.
5. Востокова Е. А., Шевченко Л. А., Сушня В. А. Картографирование на основе космической информации. – М.: Недра, 1988. – 223 с.
6. Гарбук С. В., Гершензон В. Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. – М., 1997. – 296 с.
7. Географические информационные системы, дистанционное зондирование и их практическое использование. // Итоги науки и техники: исследование Земли из космоса. – М.: ВИНТИ, 1989. – 212 с.
8. Григорьев А. А., Горский П. В. Описание лесов аэровизуальным методом. – Л.: Гослестехиздат, 1982. – 83 с.
9. Данюлис Е. П., Жирин В. М., Сухих В. И. Дистанционное зондирование в лесном хозяйстве. – М.: Агропромиздат, 1989. – 223 с.
10. Дмитриев И. Д., Мурахтанов Е. С., Сухих В. И. Лесная аэрофотосъемка и авиация. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 343 с.
11. Дмитриев И. Д., Самойлович Г. Г. Лесная аэрофотосъемка и авиация. – Л.: 1978. – 90 с.
12. Исаев А. С., Сухих В. И., Калашников Е. Н. Аэрокосмический мониторинг лесов. – М.: Наука, 1991. – 240 с.
13. Инструкция по проведению авиационной охраны лесов. – Мн., 1995. – 38 с.



14. Инструкция о порядке создания и размножения лесных карт. – Мн., 1987. – 41 с.
15. Лесотаксационное дешифрирование аэроснимков. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1971. – 58 с.
16. Методические указания по выборочной и дешифровочной инвентаризации леса. – М., 1987. – 120 с.
17. Міхнюк Д. У. Аэракаснічныя метады у лясной гаспадарцы. – Мн.: БДТУ, 1998. – 65 с.
18. Программа тематической интерпретации данных дистанционного зондирования ScanEx NeRIS (Neural Raster Interpretation System) // Руководство оператора. – М., 2000. – 80 с.
19. Программное обеспечение ESRI: взгляд вперед // ArcReview – 2002. – №2. – С. 12.
20. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. – М.: Мир, 1982. – Кн. 2. – 256 с.
21. Савиных В. П., Кучко А. С., Стеценко А. Ф. Аэрокосмическая фотосъемка. – М.: Картгеоцентр – Геодезиздат, 1997. – 378 с.
22. Савиных В. П., Цветков В. Я. Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования. – М.: Картгеоцентр – Геодезиздат, 2001. – 228 с.
23. Самойлович Г. Г. Методика изучения насаждений для лесного дешифрирования аэроснимков и аэротаксации лесов // Серия брош. по итогам науч.-иссл. работ и обмену передовым опытом. – Л.: ЛТА, 1956. – Вып. 3. – 54 с.
24. Тяшкевич И. А., Ильючик М. А., Котова Е. В. Методы обработки данных дистанционного зондирования для создания тематических лесных карт // Труды БГТУ. Сер. лесн. х-ва. – Мн., 2003. – Вып. 11. – С. 150–154.
25. Технические требования по составлению фотоабрисов и дешифрированию аэрофотоснимков. – Мн.: ЛРУП «Белгослес», 2002.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Вводная лекция .....	3
2. Природные условия съемок.....	11
3. Самолеты и вертолеты применяемые в лесном хозяйстве .....	22
4. Технические средства аэросъемки.....	33
5. Геометрические свойства аэрофотоснимков .....	43
6. Морфологические показатели древостоев.....	56
7. Дешифрирование аэрофотоснимков.....	66
8. Измерительное дешифрирование.....	75
9. Использование аэрофотоснимков при проведении дистанционного зондирования лесов.....	85
10. Инвентаризация лесов на основе сочетания наземной и дешифровочной таксации.....	92
11. Составление лесных планов и карт по материалам аэросъемки.....	99
12. Космическая съемка.....	107
13. Космические системы дистанционного зондирования лесов...	116
14. Обработка данных дистанционного зондирования.....	129
15. Спутниковые навигационные системы.....	144
16. Организация охраны лесов от пожаров и борьба с ними .....	150
17.Использование аэрокосмических снимков и авиации в лесном хозяйстве .....	158
Литература.....	168

Учебное издание

**Севко** Оксана Александровна

**АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ  
В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

Учебное пособие

Редактор М.Ф.Мурашко

Подписано в печать 21.03.2005. Формат 60×84<sup>1/16</sup>

Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.

Усл. Печ. л. 10. Уч.-изд. Л. 10,3.

Тираж 250 экз. Заказ

Учреждение образования

«Белорусский государственный технологический университет»

220050. Минск, Свердлова, 13а.

ЛИ № 02330/0133255 от 30.04.2004.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования  
«Белорусский государственный технологический университет»  
220050. Минск, Свердлова, 13а.  
ЛИ № 02330/0056739 от 22.01.2004.